

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-144729 (Corresponding To CN14938  
 (43)Date of publication of application : 20.05.2004

(51)Int.Cl. G01N 31/00  
 G01N 21/27  
 G01N 21/77  
 G01N 21/78  
 G01N 31/22

(21)Application number : 2002-351034 (71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
 <NTT>  
 (22)Date of filing : 03.12.2002 (72)Inventor : MARUO YOKO  
 OGAWA SHIGEO  
 TANAKA TORU  
 SAKATA SEIZO

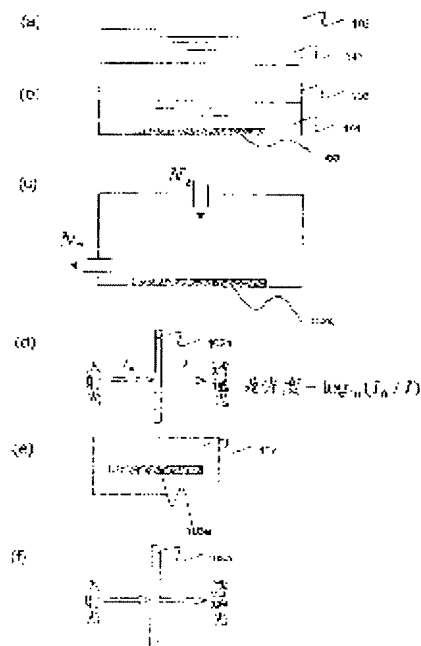
(30)Priority  
 Priority number : 2002249503 Priority date : 28.08.2002 Priority country : JP

## (54) ELEMENT, APPARATUS, AND METHOD FOR DETECTING GASEOUS OZONE

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an element, an apparatus, and a method for detecting gaseous ozone capable of easily and accurately detecting gaseous ozone and being cumulatively used and having no problems of interference or inhibition by other gases.

SOLUTION: Both a transparent porous body and pigment which acts with ozone and changes its absorbance in the visible region in the pores of the transparent porous body are provided.



[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl<sup>7</sup>

G01N 21/25

G01N 21/59



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03155391.5

[43] 公开日 2004 年 5 月 5 日

[11] 公开号 CN 1493865A

[22] 申请日 2003.8.28 [21] 申请号 03155391.5

[30] 优先权

[32] 2002. 8. 28 [33] JP [31] 2002 - 249503

[32] 2002. 12. 3 [33] JP [31] 2002 - 351034

[71] 申请人 日本电信电话株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 丸尾容子 小川重男 阪田晴三

田中融

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公  
司

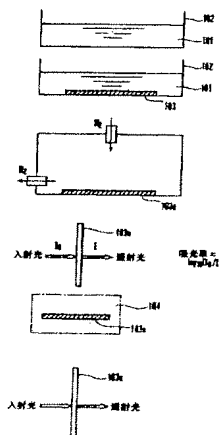
代理人 陈长会

权利要求书 5 页 说明书 27 页 附图 9 页

[54] 发明名称 臭氧气敏元件、检测装置和检测方法

[57] 摘要

制备一种气敏元件，其中，在多孔材料的孔中沉积有可见区的光吸收性能随其与臭氧气体的反应而变化的染料。测量气敏元件在测量环境中暴露预定时间前后染料的变化。基于染料的变化测量测量目标空气中的臭氧气体量。



ISSN 1008-4274

- 1、一种臭氧气体测量方法，特征在于其包括下述步骤：  
制备气敏元件(302)，在气敏元件(302)中，可见区的光吸收性能随其与臭氧气体(304)的反应而变化的染料(303)沉积在多孔材料(305)的孔中；  
使气敏元件(302)在检测环境中暴露预定时间；和  
基于气敏元件(302)在检测环境中暴露前和暴露预定时间后染料(303)的变化测量测量目标气体中的臭氧气体量。
- 2、根据权利要求 1 的方法，其中，测量臭氧气体量的步骤包括测量透光率变化的步骤。
- 3、根据权利要求 2 的方法，其中，测量臭氧气体量的步骤包括下述步骤：  
测量气敏元件的透光率，得到第一个透光率；和  
基于第一个透光率和事先测量的气敏元件(302)在检测环境中暴露预定时间以前的第二个透光率测量测量目标气体中的臭氧气体量。
- 4、根据权利要求 1 的方法，其中，多孔材料(305)中的至少一些孔(301)与多孔材料表面上的孔偶联在一起。
- 5、根据权利要求 1 的方法，其中，多孔材料(305)中的孔(301)的孔径在可见光区能够得到预定的透射率。
- 6、根据权利要求 5 的方法，其中，孔径不大于 20nm，使得染料(303)能够进入孔中。
- 7、根据权利要求 1 的方法，其中，染料(303)包括具有重氮基的芳香族化合物。
- 8、根据权利要求 7 的方法，其中，芳香族化合物包括选自苯、萘和蒽的一种材料。
- 9、根据权利要求 7 的方法，其中，染料(303)包括具有羟基、亚硫酸基和伯至叔氨基中任意一种基团的化合物。
- 10、根据权利要求 1 的方法，其中，染料(303)包括三苯基甲烷染色剂。
- 11、根据权利要求 1 的方法，其中，染料(303)含有品红酮亚胺。
- 12、根据权利要求 1 的方法，其中，染料(303)含有靛蓝。

- 13、根据任一权利要求 10 和 11 的方法，其中，除染料(303)外，气敏元件(302)还包括碱性材料。
- 14、根据权利要求 1 的方法，其中，除染料(303)外，气敏元件(302)还包括酸性气体吸附剂。
- 15、根据权利要求 14 的方法，其中，酸性气体吸附剂包括选自甘油和三乙醇胺的一种材料。
- 16、根据任一权利要求 7 和 12 的方法，其中，除染料(303)外，气敏元件(302)还包括酸。
- 17、根据权利要求 16 的方法，其中，酸包括选自盐酸、乙酸、硫酸和磷酸的一种酸。
- 18、根据权利要求 16 的方法，其中，除染料(303)和酸外，气敏元件(302)还包括吸湿化合物。
- 19、根据权利要求 18 的方法，其中，吸湿化合物包括选自甘油和乙二醇的一种材料。
- 20、根据任一权利要求 7 和 12 的方法，其中，除染料(303)外，气敏元件(302)还包括缓冲剂。
- 21、一种臭氧气敏元件，特征在于其包括：  
多孔材料(305)；和  
沉积在所述多孔材料(305)的孔中且可见区的光吸收性能随其与臭氧气体(304)的反应而变化的染料(303)。
- 22、根据权利要求 21 的元件，其中，所述多孔材料(305)中的至少一些孔(301)与所述多孔材料表面上的孔偶联在一起。
- 23、根据权利要求 21 的元件，其中，所述多孔材料(305)中的孔(301)的孔径在可见光区能够得到预定的透射率。
- 24、根据权利要求 23 的元件，其中，孔径不大于 20nm，使得染料(303)能够进入孔中。
- 25、根据权利要求 21 的元件，其中，染料(303)包括具有重氮基的芳香族化合物。
- 26、根据权利要求 25 的元件，其中，芳香族化合物包括选自苯、萘和蒽的一种材料。

27、根据权利要求 25 的元件，其中，染料(303)包括具有羟基、亚硫酸基和伯至叔氨基中任意一种基团的化合物。

28、根据权利要求 21 的元件，其中，染料(303)包括三苯基甲烷着色剂。

29、根据权利要求 21 的元件，其中，染料(303)含有品红酮亚胺。

30、根据权利要求 21 的元件，其中，染料(303)含有靛蓝。

31、根据任一权利要求 28 和 29 的元件，其中，除染料(303)外，所述气敏元件(302)还包括碱性材料。

32、根据权利要求 21 的元件，其中，除染料(303)外，所述气敏元件(302)还包括酸性气体吸附剂。

33、根据权利要求 32 的元件，其中，酸性气体吸附剂包括选自甘油和三乙醇胺的一种材料。

34、根据任一权利要求 25 和 30 的元件，其中，除染料(303)外，所述气敏元件(302)还包括酸。

35、根据权利要求 34 的元件，其中，酸包括选自盐酸、乙酸、硫酸和磷酸的一种酸。

36、根据权利要求 34 的元件，其中，除染料(303)和酸外，所述气敏元件(302)还包括吸湿化合物。

37、根据权利要求 36 的元件，其中，吸湿化合物包括选自甘油和乙二醇的一种材料。

38、根据任一权利要求 25 和 30 的元件，其中，除染料(303)外，所述气敏元件(302)还包括缓冲剂。

39、根据权利要求 38 的元件，其中，缓冲剂包括磷酸和二水合磷酸二氢钠。

40、一种臭氧气体测量装置，特征在于其包括：

发光单元(1001)；

光检测单元(1003)；

气敏元件(1002)；和

信号处理单元(1007)，

其中，所述发光单元(1001)发射预定波长的光，

所述气敏元件(1002)插入在所述发光单元(1001)和所述光检测单元(1003)

之间，气敏元件(1002)包括多孔材料(305)和沉积在多孔材料(305)的孔中且可见区的光吸收性能随其与臭氧气体(304)的反应而变化的染料(303)，所述光检测单元(1003)包括布置为面对所述发光单元(1001)的光接收表面，利用气敏元件(1002)接收所述发光单元发射的光，并输出对应于光接收表面接收的光通量的信号，和

所述信号处理单元(1007)基于所述光检测单元(1003)的输出信号和事先得到的含有染料(303)的所述气敏元件在与臭氧气体(304)反应前的光吸收性能计算臭氧气体量。

41、根据权利要求 40 的装置，其中，多孔材料(305)中的至少一些孔(301)与多孔材料表面上的孔偶联在一起。

42、根据权利要求 40 的装置，其中，多孔材料(305)中的孔(301)的孔径在可见光区能够得到预定的透射率。

43、根据权利要求 42 的装置，其中，孔径不大于 20nm，使得染料(303)能够进入孔中。

44、根据权利要求 40 的装置，其中，染料(303)包括具有重氮基的芳香族化合物。

45、根据权利要求 44 的元件，其中，芳香族化合物包括选自苯、萘和蒽的一种材料。

46、根据权利要求 44 的装置，其中，染料(303)包括具有羟基、亚硫酸基和伯至叔氨基中任意一种的化合物。

47、根据权利要求 40 的装置，其中，染料(303)包括三苯基甲烷着色剂。

48、根据权利要求 40 的装置，其中，染料(303)含有品红酮亚胺。

49、根据权利要求 40 的装置，其中，染料(303)含有靛蓝。

50、根据任一权利要求 47 和 48 的装置，其中，除染料(303)外，所述气敏元件(1002)还包括碱性材料。

51、根据权利要求 40 的装置，其中，除染料(303)外，所述气敏元件(1002)还包括酸性气体吸附剂。

52、根据权利要求 51 的装置，其中，酸性气体吸附剂包括选自甘油和三乙醇胺的一种材料。

53、根据任一权利要求 44 和 49 的装置，其中，除染料(303)外，所述气

敏元件(1002)还包括酸。

54、根据权利要求 53 的装置，其中，酸包括选自盐酸、乙酸、硫酸和磷酸的一种酸。

55、根据权利要求 53 的装置，其中，除染料(303)和酸外，所述气敏元件(1002)还包括吸湿化合物。

56、根据权利要求 55 的装置，其中，吸湿化合物包括选自甘油和乙二醇的一种材料。

57、根据任一权利要求 44 和 49 的装置，其中，除染料(303)外，所述气敏元件(1002)还包括缓冲剂。

58、根据权利要求 57 的装置，其中，缓冲剂包括磷酸和二水合磷酸二氢钠。

## 臭氧气敏元件、检测装置和检测方法

### 技术领域

本发明涉及臭氧气敏元件、检测装置和检测方法。

### 发明背景

目前  $\text{NO}_x$ 、SPM 和光化学氧化剂造成空气污染，严重影响环境。作为光化学氧化剂主要组分的臭氧是在阳光照射下工厂、办公室和汽车排放的污染物如  $\text{NO}_x$  或烃发生光化学反应生成的。并且造成光化学烟雾。

日本已经制定了质量标准，如规定了空气中这些物质的光化学氧化剂的浓度。气体浓度是在许多地方的常规空气检测站用利用紫外线吸收的分析仪测定的。空气质量标准是平均 60ppb/h 或更低。

在用分析仪测量气体浓度时，能够测量几个 ppb 的少量气体。但是，这种仪器价格昂贵且需要维护。分析仪需要非常高的动力费用、仪器维护成本等。还有许多限制，必须保证电源、校正用的标准气体和控制湿度的专用房间。

为了高精度地研究气体浓度分布，评价对陆地环境的影响，必须增加检测点以检测全国范围内的环境。为此，目前日益需要累计使用低成本、小型和易于使用的气敏元件或无源检测方法(或检测装置)。

为了满足这一需要，半导体气敏元件、固体电解质气敏元件、电化学气敏元件、水晶振荡气敏元件等得到广泛开发。但是，这些开发的气敏元件用于评价短时间内的反应，这些气敏元件不能用于需要累计数据的检测。如果需要累计，则这些气敏元件必须一直处于运行状态。其检测极限是次 ppm(1ppm 或更低)，这些气敏元件不能检测实际环境中的臭氧浓度(如：约 10ppb 的臭氧)。在许多情况下不能忽略其它气体的影响。

还开发了一种使用无源采样器(passive sampler)的方法，用于在一个地点进行长期平均检测，该方法不适于累计应用。这种方法存在的问题



是操作员必须到现场，在读取颜色时还存在个体差异。其它气体的干扰或变动常常会产生一些问题。

作为无源检测方法，用抽吸泵将臭氧采入用纯净水洗净的玻璃瓶，以不和空气混合。将水中的臭氧吸收到碘化钾溶液中，滴定沉淀的碘。该方法不仅需要样品，而且需要外围设备，并且在采水样后要立即调节pH。还必须进行检测操作。

为了根据空气质量标准高精度检测 ppb 数量级的臭氧气体，传统的气体浓度检测需要昂贵的笨重的设备配置。检测方法很麻烦，且臭氧气体不易检测。

## 发明内容

本发明的一个目的是提供能够比现有技术更简易更精确地检测臭氧气体的臭氧气敏元件、检测装置(测量装置)和检测方法(测量方法)。

本发明的另一个目的是提供能够累计应用的臭氧气敏元件、检测装置(测量装置)和检测方法(测量方法)。

本发明的再一个目的是提供其它气体的干扰或变动能够忽略不计的臭氧气敏元件、检测装置(测量装置)和检测方法(测量方法)。

为了达到上述目的，本发明的臭氧气体测量方法包括下述步骤：制备气敏元件，在气敏元件中，可见区的光吸收性能随其与臭氧气体的反应而变化的染料(着色剂)沉积在多孔材料的孔中；使气敏元件在检测环境中暴露预定时间，基于气敏元件在检测环境中暴露前和暴露预定时间后光吸收的变化测量目标气体中的臭氧气体量。

本发明的臭氧气敏元件包括多孔材料和沉积在多孔材料的孔中且可见区的光吸收性能随其与臭氧气体的反应而变化的染料(着色剂)。

本发明的臭氧气体测量装置包括发光单元、光检测单元、气敏元件和信号处理单元，其中，发光单元发射预定波长的光，气敏元件插入在发光单元和光检测单元之间，气敏元件包括多孔材料和沉积在多孔材料的孔中且可见区的光吸收性能随其与臭氧气体的反应而变化的染料，光检测单元包括布置为面对发光单元的光接收表面，利用气敏元件接收发光单元发射的光，并输出对应于光接收表面接收的光通量的信号，信号

处理单元基于光检测单元的输出信号和事先得到的含有染料的气敏元件在染料与臭氧气体反应前的光吸收性能计算臭氧气体量。

### 附图简述

图 1A-1C 是说明生产本发明一个实施方案的臭氧气敏元件的方法的视图；

图 1D-1F 是说明本发明一个实施方案的臭氧气体检测方法的视图；

图 2 是示出本发明一个实施方案的两次吸光率测量结果的座标图；

图 3 是示出本发明一个实施方案的气敏元件配置的示意图；

图 4 是示出臭氧浓度和第一个实施方案的气敏元件中的透射率的关系的相关图；

图 5 是示出玻璃多孔材料和透光率的关系的相关图；

图 6 是示出本发明第二个实施方案的气敏元件的特征的座标图；

图 7 是示出在本发明第二个实施方案的臭氧气体检测方法中两次吸光率测量结果的座标图；

图 8 是示出在本发明第三个实施方案的臭氧气体检测方法中两次吸光率测量结果的座标图；

图 9 是示出在本发明第四个实施方案的臭氧气体检测方法中两次吸光率测量结果的座标图；

图 10 是示出在本发明第四个实施方案的另一种臭氧气体检测方法中两次吸光率测量结果的座标图；

图 11 是示出在本发明第五个实施方案的臭氧气体检测方法中两次吸光率测量结果的座标图；

图 12 是示出在本发明第六个实施方案的臭氧气体检测方法中两次吸光率测量结果的座标图；

图 13 是示出在本发明第七个实施方案的臭氧气体检测方法中两次吸光率测量结果的座标图；

图 14 是示出在本发明第八个实施方案的臭氧气体检测方法中两次吸光率测量结果的座标图；

图 15 是示意性示出本发明一个实施方案的臭氧气体检测装置的配置

的方框图。

## 具体实施方式

下面参考附图描述本发明的优选实施方案。

### 第一个实施方案

下面说明第一个实施方案的臭氧气体检测方法(测量方法)。

下面描述气敏元件的制作方法。

如图 1A 所示, 在容器 102 中制备含一号橙乙醇溶液和水的混合溶液 101。一号橙的浓度是 0.2%。

如图 1B 所示, 将多孔材料 103 浸泡在溶液 101 中。多孔材料 103 的一个例子是平均孔径为 4nm 的多孔玻璃。第一个实施方案用购自 Corning 的 Vycor 7930 作为多孔材料 103。多孔材料的大小是片尺寸为 8(mm)×8(mm), 厚度为 1(mm)。

多孔材料 103 在溶液 101 中浸泡 24 小时, 用溶液浸渍多孔材料 103 的孔。然后将多孔材料 103 空气干燥。如图 1C 所示, 多孔材料 103 在氮气气流中干燥 24 小时或更长时间, 从而形成气敏元件 103a。

下面描述使用气敏元件 103a 的臭氧气体检测方法(测量方法)。

如图 1D 所示, 测量气敏元件 103a 在厚度方向上的吸光率。在图 1D 中,  $I_0$  表示入射光的光强度, 而  $I$  表示透射光的光强度。在这种情况下, 用  $\log_{10}(I_0/I)$  表示吸光率。

如图 1E 所示, 气敏元件 103a 在臭氧浓度例如为 100ppb 的测量目标空气 104 中暴露预定时间如 3 小时。然后将气敏元件 103a 从测量目标空气 104 中取出。如图 1F 所示, 再次测量气敏元件 103a 在厚度方向上的吸光率。

图 2 示出两次吸光率的测量结果(吸光率分析值)。在测量中, 透射光测量波长为 350nm 或更小时没有测量吸光率, 因为光线被构成气敏元件的多孔玻璃(Vycor 7930)吸收。

在图 2 中, 虚线表示暴露在测量目标空气中之前的吸光率测量结果, 实线表示暴露在测量目标空气中以后的吸光率测量结果。实线和虚线都在波长约为 1350nm 和 1900nm 处有水吸收峰。在 1350nm 和 1900nm 波

长周围吸收的变化取决于测量目标空气的湿度和气敏元件的停留时间。因此，使用气敏元件 103a 的臭氧气体检测方法(测量方法)的有效测量波长范围确定为 350nm-1000nm。

波长范围为 400nm-600nm，特别是 480nm 附近发现实线和虚线有很大差异。气敏元件 103a 暴露在测量目标空气中以后的吸光率测量值在 480nm 的波长处吸光率下降。这意味着：当气敏元件 103a 暴露在测量目标空气中时，气敏元件中的染料(着色剂)分解，生成新的分解产品。这种产品可以认为是一号橙的分子骨架中含有的重氮基分解所产生的。

在第一个实施方案中，通过测量染料(着色剂)与臭氧反应前后的颜色变化检测臭氧气体。

下面说明第一个实施方案的气敏元件。

如图 3 所示，用上述生产方法制作的气敏元件 302 具有透明的基体形状，其中有许多平均孔径例如为 20nm 或更小的孔 301。气敏元件 302 作为吸附剂。多孔材料 305 中的至少一些孔 301 与多孔材料表面上的孔偶联在一起。

染料(着色剂)沉积在气敏元件 302 的孔 301 中。多孔材料暴露在空气中，然后空气中的水分吸附在孔中，形成很薄的水膜。结果可以认为其中溶解有染料(着色剂)的水溶液(捕集和检测溶液)薄膜 303 形成在气敏元件 302 的孔 301 的内壁上。因为至少一些孔 301 与多孔材料表面上的孔偶联在一起，所以可以认为至少一些孔中沉积有染料。

进入气敏元件 302 的孔 301 中的臭氧分子 304 与染料反应，分解重氮基。即，在分子上伸展的  $\pi$  电子系统一分为二。分裂的分子在 480nm 附近不吸收任何光线，因此气敏元件 302 的颜色减弱。即，染料和臭氧发生褪色反应。因为至少一些孔 301 与多孔材料表面上的孔偶联在一起，所以可以认为臭氧气体与至少一些孔中沉积的染料发生反应。

因此，例如通过用分光光度计(吸收计)测量气敏元件的吸收光谱可以定量检测分解的分子。通过定量检测可以间接测量臭氧气体。

例如，多孔材料是用能够传输染料光吸收波长范围内的光线的材料制成的。测量吸附臭氧气体的气敏元件的光吸收性能。通过测量光吸收性能可以检测吸附的臭氧气体。

如上所述,当气敏元件在臭氧浓度为 100ppb 的测量目标空气中暴露 3 小时时测量第一个实施方案。作为吸光率的测量结果,如图 2 所示,480nm 波长处的吸光率变化值约为 0.17,所以可以高灵敏度地检测 100ppb 级别的臭氧气体。

测量吸光率时将气敏元件 103a 固定在吸收计的薄膜测量支架上。得到测量吸光率时的吸光率差值和浓度的关系就可以定量检测 ppb 级的臭氧浓度。

将得到的每单位暴露量(浓度(ppb)×暴露时间(h))最大吸收波长处吸光率的变化值作为灵敏度指数。在第一个实施方案中,如图 2 所示,在 100ppb 的臭氧气体中暴露 3 小时后的吸光率变化值是 0.17。灵敏度指数是  $5.7 \times 10^{-4} \text{ppb}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 。从而可以达到非常高的灵敏度。

如上所述,在第一个实施方案制备的气敏元件中,和臭氧气体反应时对可见光的吸收不能可逆变化的染料沉积在透明多孔材料的孔中。可以认为:当气敏元件暴露在含臭氧气体的大气中时,吸附在气敏元件孔中的臭氧气体使染料中的双键如重氮基断开,染料分子的电子状态发生变化,从而改变可见区的吸收光谱。因此,当气敏元件的颜色发生变化且第一和第二透射率不同时可以检测臭氧气体。

第一个实施方案用一号橙作为染料的例子。重氮染料的例子有二号橙、橙 G、甲基橙、俾斯麦棕、甲基黄、酸性铬紫 K、藏花橙 G、铬变素 FB、新胭脂、结晶猩红、茜素蓝黑 R、Plasmocorinth B、苏丹 II、苏丹 III、苏丹 IV、苏丹红 B、苏丹红 7B、晚霞黄 FCF、甲苯胺红、金莲橙 O、二甲代苯胺丽春红 2R、锌一钠盐、苯并红紫 4B、Biebrich Scarlet Red、枣红 R、亮藏花精 MOO、2-(5-溴-2-吡啶基偶氮)-5-(二乙基氨基)苯酚、6'-丁氧基-2,6-二氨基-3,3'-偶氮二吡啶、酸性黑 24、酸性蓝 29、酸性蓝 92、酸性蓝 113、酸性蓝 120、酸性橙 8、酸性橙 51、酸性橙 63、酸性橙 74、酸性红 1、酸性红 4、酸性红 8、酸性红 37、酸性红 97、酸性红 114、酸性红 151、酸性红 183、酸性紫 7、酸性黄 17、酸性黄 25、酸性黄 29、酸性黄 34、酸性黄 42、酸性黄 76、酸性黄 99、茜素黄 GG、Allura Red AC、苋菜红、Calcion、芝加哥天蓝 6B、铬变素 2B、铬变素 2R、碱性菊橙、刚果红、直接蓝 71、直接红 23、直接红 75、直接红 80、直接红 81、直

接紫 51、直接黄 50、直接黄 62、分散红 1、分散红 19、分散黄 3、羊毛铬蓝黑 B、羊毛铬黑 T、埃文斯蓝、脂溶性棕 RR、间胺黄、萘酚蓝黑、硝嗪黄、氮红、硝基砒偶氮 III、溶剂红 26 和油红 O。染料的一个例子是三苯基甲烷着色剂(如：孔雀绿、结晶紫或品红)。染料的一个例子是含靛蓝的靛青类(如：靛蓝或靛蓝胭脂红)。

染料的一个例子是既是芳香族化合物(如：苯、萘或蒽)又有重氮基的染料。使用这些染料时，即使存在其它气体也能够明确地检测到臭氧。

染料的一个例子是既是芳香族化合物(如：苯、萘或蒽)又有羟基、亚硫酸基或伯至叔氨基的重氮染料。使用这些染料时，即使存在其它气体也能够明确地检测到臭氧。还能够使染料具有稳定性，以更稳定地检测臭氧。

作为将染料导入多孔材料的孔中的一种方法，用溶液将染料浸渍到多孔材料中，染料导入孔中后干燥。作为另一种方法，染料可以通过气相沉积导入孔中。作为另一种方法，染料和其它化合物混合，然后在用溶胶凝胶法制作多孔材料时将其导入孔中。

根据第一个实施方案，用在多孔材料的孔中含有染料的气敏元件 103a 可以增加待检测的臭氧气体的吸附面积。与传统方法相比，其灵敏度和累计能力均有提高，从而可以实现累计应用。

根据第一个实施方案，构成气敏元件 103a 的多孔材料在约 350nm-1000nm 的波长范围内有很高的透射率。通过测量气敏元件的透射率可以测量在气敏元件中吸附有臭氧时将分解的气敏元件的吸光率的变化值。即，测量和对比气敏元件 103a 在测量目标空气中暴露前后的气敏元件的吸光率。结果，可以检测吸附在气敏元件 103a 中的臭氧气体，从而易于检测臭氧气体。在吸光率测量中，只有一个足以检测的单峰在变化，因此这种测量易于进行。

在第一个实施方案的气敏元件中，气敏元件在预定波长处的透射率随检测目标气体中臭氧气体浓度的增加而增大。在第一个实施方案的情况下预定波长约为 480nm。

第一个实施方案通过使用小型气敏元件 103a 可以用光学变化检测臭氧气体，可以非常容易地高精度检测臭氧气体。

至于构成气敏元件的多孔材料与其透光率的关系，如图 5 所示，当气敏元件是用多孔玻璃(硼硅玻璃)制成的时，将平均孔径设置为 20nm 或更小，在 UV 可见光波长区(波长：200nm-2000nm)测量透射光谱时光线可以在可见光区(350nm-800nm)内传输。对于较大的平均孔径来说，能够观察到可见区的透射率突然下降。

在图 5 中，点线表示石英玻璃的透射率；点划线表示孔径为 2.5nm 的硼硅玻璃多孔材料的透射率；实线表示第一个实施方案中采用的 Vycor 7930 的透射率；虚线表示孔径为 20nm 的硼硅玻璃多孔材料的透射率。

点划线和虚线表示的样品购自 Geltec。在透射率测量方法中使用的所有样品的厚度都是 1mm。

从图 5 的结果看，多孔材料的平均孔径优选是 20nm 或更小。可以认为尺寸为 0.3nm-5nm 的染料能够沉积在多孔材料的孔中。透明多孔材料优选用在 350nm-800nm 的可见区。在第一个实施方案中，多孔材料的比表面积是 100m<sup>2</sup>/g 或更大。

## 第二个实施方案

下面说明本发明第二个实施方案的臭氧气敏元件。

下面描述第二个实施方案的臭氧气敏元件的制作方法。

如图 1A 所示，将碳酸钠溶解在水中，得到的溶液作为碱性溶液。碳酸钠的浓度是 5%。

如图 1B 所示，使平均孔径为 4nm 的多孔材料在碱性溶液中浸泡预定时间如 2 小时，然后用纯净水洗净。

这种多孔材料与第一个实施方案中所述的相同，是用购自 Corning 的 Vycor 7930 制成的。多孔材料的片尺寸为 8(mm)×8(mm)，厚度为 1(mm)。

将品红溶解在乙醇中制备溶液。品红浓度是 0.002%。已经在碱性溶液中浸泡过且已经用纯净水洗净的多孔材料在品红乙醇溶液中浸泡 2 小时，使溶液浸入多孔材料的孔中。然后将多孔材料空气干燥。多孔材料在氮气气流中干燥半天或更长时间，从而形成第二个实施方案的气敏元件。

在上述制作方法中，将多孔材料浸泡在纯净水中，而不是浸泡在碱性溶液中，然后再浸泡在品红溶液中，从而制成对比气敏元件。测量用

上述方法制作的第二个实施方案的气敏元件和对比气敏元件的吸光率。

下面参考图 6 说明当第二个实施方案的气敏元件和对比气敏元件静置在氮气中时在 545nm 处的吸光率变化值。

没有进行碱处理的对比气敏元件即使在氮气中其吸光率也发生变化。相反,进行了碱处理的第二个实施方案的气敏元件的吸光率是稳定的,没有任何变化。

下面参考图 7 说明进行了碱处理的第二个实施方案的气敏元件在测量目标空气中暴露前后的气敏元件的吸收光谱变化。在图 7 中,虚线表示第二个实施方案的气敏元件暴露在测量目标空气中之前的吸收光谱,实线表示第二个实施方案的气敏元件在臭氧浓度为 100ppb 的空气中暴露 24 小时后的吸收光谱。

在图 7 中,实线表示的第二个实施方案的气敏元件在 545nm 波长处的吸光率降低。可以认为出现这种情况的原因是臭氧使品红分子中的品红酮亚胺(Fuchsonimine)分解,即,  $\pi$  电子系统分裂。

吸光率的变化很大,约为 0.1。即使用第二个实施方案的气敏元件检测臭氧气体,也能高灵敏度地检测 ppb 级的臭氧气体。

参考图 7,得到的灵敏度指数是  $4.2 \times 10^{-5} \text{ppb}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 。从而可以达到非常高的灵敏度。

如上所述,在第二个实施方案制备的气敏元件中,碱与和臭氧气体反应时对可见区的吸光率发生变化的染料(着色剂)沉积在透明多孔材料的孔中。可以认为:当气敏元件暴露在含臭氧气体的大气中时,吸附在气敏元件孔中的臭氧气体使染料中的双键如  $\text{C}=\text{C}$  断开,染料分子的电子状态发生变化,从而改变可见区的吸收光谱。因此,当气敏元件的颜色发生变化且第一和第二透射率不同时可以检测臭氧气体。

第二个实施方案用品红作为染料的例子。染料的一个例子是三苯基甲烷着色剂(如:孔雀绿或结晶紫)。

作为将染料导入多孔材料的孔中的一种方法,用捕集和检测溶液将染料浸渍到多孔材料中,染料导入孔中后干燥。作为另一种方法,染料可以通过气相沉积导入孔中。作为另一种方法,染料和其它化合物混合,然后在用溶胶凝胶法制作多孔材料时将其导入孔中。



根据第二个实施方案,用在多孔材料的孔中含有染料的气敏元件 103a 可以增加待检测的臭氧气体的吸附面积。与传统方法相比,其灵敏度和累计能力均有提高,从而可以实现累计应用。

第二个实施方案用将碳酸钠溶解在水中制备的水溶液作为碱性溶液的一个例子。碱的例子有碱本身和碱盐。碱盐的可用例子是弱酸和强碱盐。

在第二个实施方案中,多孔材料的平均孔径也优选是 20nm 或更小。

### 第三个实施方案

下面说明本发明第三个实施方案的臭氧气敏元件。

下面描述第三个实施方案的臭氧气敏元件的制作方法。

如图 1A 所示,将作为染料(着色剂)的甲基橙和作为酸性气体吸附剂的三乙醇胺溶解在水中,制备溶液。甲基橙的浓度是 0.35%,三乙醇胺的浓度是 1.0%。

如图 1B 所示,使平均孔径为 4nm 的多孔材料浸泡在溶液中。多孔材料与第一个实施方案中所述的相同,是用购自 Corning 的 Vycor 7930 制成的。多孔材料的片尺寸为 8(mm)×8(mm),厚度为 1(mm)。

多孔材料在溶液中浸泡 2 小时,使溶液浸入多孔材料的孔中。然后将多孔材料空气干燥。多孔材料在氮气气流中干燥半天,从而形成第三个实施方案的气敏元件。

下面参考图 8 说明第三个实施方案的气敏元件在测量目标空气中暴露前后的气敏元件的吸收光谱。在图 8 中,虚线表示暴露在测量目标空气中之前的吸收光谱,实线表示第三个实施方案的气敏元件在臭氧浓度为 100ppb 的空气中暴露 24 小时后的吸收光谱。

如图 8 所示,第三个实施方案的气敏元件在 510nm 波长处的吸光率降低。降低值约为 0.3,从而可以高灵敏度地检测 ppb 级的臭氧气体。

参考图 8,得到的灵敏度指数是  $1.3 \times 10^{-4} \text{ ppb}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 。

在上述制作方法中,制作对比气敏元件,只是没有使用三乙醇胺。用对比气敏元件研究作为酸性气体的  $\text{NO}_2$  的干扰所产生的影响。结果观察到  $\text{NO}_2$  对对比气敏元件有干扰,而在第三个实施方案的气敏元件中观察不到  $\text{NO}_2$  有任何干扰。

如上所述,在第三个实施方案制备的气敏元件中,酸性气体吸附剂与和臭氧气体反应时对可见区的吸光率发生变化的染料(着色剂)沉积在透明多孔材料的孔中。可以认为:当气敏元件暴露在含臭氧气体和许多非臭氧气体的酸性气体的大气中时,吸附在气敏元件孔中的臭氧气体使染料中的双键如  $N=N$  断开,气敏元件不受酸性气体的干扰,染料分子的电子状态发生变化,从而改变可见区的吸收光谱。因此,当气敏元件的颜色发生变化且第一和第二透射率不同时可以检测臭氧气体。

第三个实施方案用甲基橙作为染料的例子。染料的例子有一号橙、二号橙、橙 G、俾斯麦棕、甲基黄、酸性铬紫 K、藏花橙 G、铬变素 FB、新胭脂、结晶猩红、茜素蓝黑 R、Plasmocorinth B、苏丹 II、苏丹 III、苏丹 IV、苏丹红 B、苏丹红 7B、晚霞黄 FCF、甲苯胺红、金莲橙 O、二甲代苯胺丽春红 2R、锌一钠盐、苯并红紫 4B、Biebrich Scarlet Red、枣红 R、亮藏花精 MOO、2-(5-溴-2-吡啶基偶氮)-5-(二乙基氨基)苯酚、6'-丁氧基-2,6-二氨基-3,3'-偶氮二吡啶、酸性黑 24、酸性蓝 29、酸性蓝 92、酸性蓝 113、酸性蓝 120、酸性橙 8、酸性橙 51、酸性橙 63、酸性橙 74、酸性红 1、酸性红 4、酸性红 8、酸性红 37、酸性红 97、酸性红 114、酸性红 151、酸性红 183、酸性紫 7、酸性黄 17、酸性黄 25、酸性黄 29、酸性黄 34、酸性黄 42、酸性黄 76、酸性黄 99、茜素黄 GG、Allura Red AC、苋菜红、Calcion、芝加哥天蓝 6B、铬变素 2B、铬变素 2R、碱性菊橙、刚果红、直接蓝 71、直接红 23、直接红 75、直接红 80、直接红 81、直接紫 51、直接黄 50、直接黄 62、分散红 1、分散红 19、分散黄 3、羊毛铬蓝黑 B、羊毛铬黑 T、埃文斯蓝、脂溶性棕 RR、间胺黄、萘酚蓝黑、硝嗪黄、氮红、硝基砒偶氮 III、溶剂红 26 和油红 O。染料的一个例子是三苯基甲烷着色剂(如:孔雀绿、结晶紫或品红)。

染料的一个例子是既是芳香族化合物(如:苯、萘或蒽)又有重氮基的染料。使用这些染料时,即使存在其它气体也能够明确地检测到臭氧。

染料的一个例子是既是芳香族化合物(如:苯、萘或蒽)又有羟基、亚硫酸基或伯至叔氨基的重氮染料。使用这些染料时,即使存在其它气体也能够明确地检测到臭氧。还能够使染料具有稳定性,以更稳定地检测臭氧。

作为将染料导入多孔材料中的一种方法,用溶液将染料浸渍到多孔材料中,染料导入孔中后干燥。作为另一种方法,染料可以通过气相沉积导入孔中。作为另一种方法,染料和其它化合物混合,然后在用溶胶凝胶法制作多孔材料时将其导入孔中。

根据第三个实施方案,用在多孔材料的孔中含有染料的气敏元件 103a 可以增加待检测的臭氧气体的吸附面积。与传统方法相比,其灵敏度和累计能力均有提高,从而可以实现累计应用。

第三个实施方案用三乙醇胺作为酸性气体吸附剂的一个例子,也可以使用甘油。

在第三个实施方案中,多孔材料的平均孔径也优选是 20nm 或更小。  
第四个实施方案

下面说明本发明第四个实施方案的臭氧气敏元件。

下面描述第四个实施方案的臭氧气敏元件的制作方法。

如图 1A 所示,将作为染料(着色剂)的二号橙溶解在水中,制备溶液。二号橙的浓度是 0.2%。将捕集和检测溶液盛放在容器 102 中。如图 1B 所示,使平均孔径为 4nm 的多孔材料浸泡约 2 小时。多孔材料与第一个实施方案中所述的相同,是用购自 Corning 的 Vycor 7930 制成的。多孔材料的片尺寸为 8(mm)×8(mm),厚度为 1(mm)。

多孔材料浸泡在溶液中,使溶液浸入多孔材料的孔中。用溶液浸泡后的多孔材料从溶液中取出,进行空气干燥,然后在氮气气流中干燥半天,从而形成第四个实施方案的气敏元件。

当制作的气敏元件暴露在臭氧浓度为 100ppb 的空气中时,可以观察到橙色消退。用吸收计测量这种变化。

下面参考图 9 说明第四个实施方案的气敏元件的吸光率测量结果。在图 9 中,虚线表示初始暗橙色的气敏元件的测量结果,实线表示褪色后的气敏元件的测量结果。这种变化是不可逆的。臭氧浓度在 100ppb-1ppm 间变化,而谱图变化几乎一样,只是吸光强度有所不同。

图 10 示出气敏元件暴露在臭氧浓度约为 20ppb 的空气中时的吸光率。在图 10 中,虚线表示初始暗橙色的气敏元件的测量结果,实线表示在测量目标空气中暴露后的测量结果。这种变化也是不可逆的。

如图 10 所示, 第四个实施方案的气敏元件在约 510nm 波长处的吸光率降低。即使使用第四个实施方案的气敏元件, 也能够检测臭氧气体。还可以检测空气中的臭氧气体。

第四个实施方案用二号橙作为染料的例子。染料的例子有一号橙、橙 G、甲基橙、俾斯麦棕、甲基黄、酸性铬紫 K、藏花橙 G、铬变素 FB、新胭脂、结晶猩红、茜素蓝黑 R、Plasmocorinth B、苏丹 II、苏丹 III、苏丹 IV、苏丹红 B、苏丹红 7B、晚霞黄 FCF、甲苯胺红、金莲橙 O、二甲代苯胺丽春红 2R、锌一钠盐、苯并红紫 4B、Biebrich Scarlet Red、枣红 R、亮藏花精 MOO、2-(5-溴-2-吡啶基偶氮)-5-(二乙基氨基)苯酚、6'-丁氧基-2,6-二氨基-3,3'-偶氮二吡啶、酸性黑 24、酸性蓝 29、酸性蓝 92、酸性蓝 113、酸性蓝 120、酸性橙 8、酸性橙 51、酸性橙 63、酸性橙 74、酸性红 1、酸性红 4、酸性红 8、酸性红 37、酸性红 97、酸性红 114、酸性红 151、酸性红 183、酸性紫 7、酸性黄 17、酸性黄 25、酸性黄 29、酸性黄 34、酸性黄 42、酸性黄 76、酸性黄 99、茜素黄 GG、Allura Red AC、苋菜红、Calcion、芝加哥天蓝 6B、铬变素 2B、铬变素 2R、碱性菊橙、刚果红、直接蓝 71、直接红 23、直接红 75、直接红 80、直接红 81、直接紫 51、直接黄 50、直接黄 62、分散红 1、分散红 19、分散黄 3、羊毛铬蓝黑 B、羊毛铬黑 T、埃文斯蓝、脂溶性棕 RR、间胺黄、萘酚蓝黑、硝嗉黄、氮红、硝基砒偶氮 III、溶剂红 26 和油红 O。染料的一个例子是既是芳香族化合物(如: 苯、萘或蒽)又有重氮基的染料。使用这些染料时, 即使存在其它气体也能够明确地检测到臭氧。

染料的一个例子是含有既是具有重氮基的芳香族化合物(如: 苯、萘或蒽)又有羟基、亚硫酸基或伯至叔氨基的染料的重氮染料。使用这些染料时, 即使存在其它气体也能够明确地检测到臭氧。还能够使染料具有稳定性, 以更稳定地检测臭氧。

作为将染料导入多孔材料的孔中的一种方法, 用捕集和检测溶液将染料浸渍到多孔材料中, 染料导入孔中后干燥。作为另一种方法, 染料可以通过气相沉积导入孔中。作为另一种方法, 染料和其它化合物混合, 然后在用溶胶凝胶法制作多孔材料时将其导入孔中。

根据第四个实施方案, 用在多孔材料的孔中含有染料的气敏元件 103a

可以增加待检测的臭氧气体的吸附面积。与传统方法相比，其灵敏度和累计能力均有提高，从而可以实现累计应用。

在第四个实施方案中，多孔材料的平均孔径也优选是 20nm 或更小。

#### 第五个实施方案

下面说明本发明第五个实施方案的臭氧气敏元件。

下面描述第五个实施方案的臭氧气敏元件的制作方法。

如图 1A 所示，将作为染料(着色剂)的靛蓝胭脂红二钠盐溶解在水中，然后加入作为酸的盐酸，以此制备 0.3%靛蓝胭脂红二钠盐和 1N 盐酸的水溶液，将其作为溶液 101。溶液 101 盛放在容器 102 中。

如图 1B 所示，将多孔材料 103 浸泡在溶液 101 中。多孔材料 103 的一个例子是平均孔径为 4nm 的多孔玻璃。多孔材料 103 与第一个实施方案中所述的相同，是用购自 Corning 的 Vycor 7930 制成的。多孔材料的片尺寸为 8(mm)×8(mm)，厚度为 1(mm)。

多孔材料 103 在溶液 101 中浸泡 24 小时，用溶液 101 浸渍多孔材料 103 的孔。用溶液 101 浸泡后的多孔材料从溶液中取出，进行空气干燥。如图 1C 所示，多孔材料在氮气气流中干燥 24 小时或更长时间，从而形成第五个实施方案的气敏元件 103a。

如图 1D 所示，测量气敏元件 103a 在厚度方向上的吸光率。在图 1E 中，气敏元件 103a 在臭氧浓度例如为 20ppb 的测量目标空气 104 中暴露 2 小时。然后将气敏元件 103a 从测量目标空气 104 中取出。如图 1F 所示，再次测量气敏元件 103a 在厚度方向上的吸光率。

下面参考图 11 解释两次吸光率的测量结果(吸光率分析值)。透射光测量波长为 350nm 或更小时没有测量吸光率，因为光线被构成气敏元件的多孔玻璃(Vycor 7930)吸收。

在图 11 中，虚线表示暴露在测量目标空气中之前的吸光率，实线表示暴露在测量目标空气中以后的吸光率。波长范围为 500nm-700nm，特别是 600nm 附近发现实线和虚线有很大差异。在测量暴露在测量目标空气中以后的吸光率时，在 600nm 波长处吸光率下降。可以认为吸光率的下降是因为当气敏元件暴露在测量目标空气中时，气敏元件中的染料分解，生成新的分解产品。这种产品可以认为是靛蓝胭脂红二钠盐的分子

骨架中含有的 C=C 键分解所产生的。

捕集和检测溶液中没有加入盐酸时的气敏元件在 600nm 处的吸光率是溶液中加入盐酸时的气敏元件在 600nm 处的吸光率的 1/100。可以认为许多染料组分进入了多孔材料。

如图 3 所示,用上述生产方法制作的气敏元件作为具有透明基体形状的吸附剂,其中有许多平均孔径例如为 20nm 或更小的孔 301。多孔材料 305 中的至少一些孔 301 与多孔材料表面上的孔偶联在一起。染料沉积在气敏元件 302 的孔 301 中。多孔材料暴露在空气中,然后空气中的水分吸附在孔中,形成很薄的水膜。结果可以认为其中溶解有染料的水溶液(捕集和检测溶液)薄膜 303 形成在气敏元件 302 的孔 301 的内壁上。因为至少一些孔 301 与多孔材料表面上的孔偶联在一起,所以可以认为至少一些孔中沉积有染料。

进入气敏元件 302 的孔 301 中的臭氧分子 304 与染料反应,分解碳碳双键。即,在分子上伸展的  $\pi$  电子系统断裂成两个或多个片段。分裂的分子在 600nm 附近不吸收任何光线,因此气敏元件的颜色减弱。即,染料和臭氧发生褪色反应。因为至少一些孔 301 与多孔材料表面上的孔偶联在一起,所以可以认为臭氧气体与至少一些孔中沉积的染料发生反应。

例如通过用分光光度计(吸收计)测量吸收光谱可以定量检测分解的分子。通过定量检测可以间接测量臭氧气体。

例如,多孔材料是用能够传输染料光吸收波长范围内的光线的材料制成的。测量吸附臭氧气体的气敏元件的光吸收性能。通过测量光吸收性能可以检测吸附的臭氧气体。

与第一个实施方案中所述的类似,测量吸光率时将第五个实施方案的气敏元件 103a 固定在吸收计的薄膜测量支架上。得到测量吸光率时的吸光率差值和浓度的关系就可以定量检测 ppb 级的臭氧浓度。

如第一个实施方案所述,将得到的单位暴露量(浓度(ppb)×暴露时间(h))的最大吸收波长处吸光率的变化值作为灵敏度指数。如图 11 所示,在 20ppb 的臭氧气体中暴露 2 小时后的吸光率变化值是 0.009。灵敏度指数是  $2.5 \times 10^{-4} \text{ppb}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 。从而可以达到非常高的灵敏度。

如上所述,在第五个实施方案制备的气敏元件中,酸与和臭氧气体反应时对可见区的吸光率发生变化的染料的混合物沉积在透明多孔材料的孔中。可以认为:当气敏元件暴露在含臭氧气体的大气中时,吸附在气敏元件孔中的臭氧气体使染料中的双键如  $C=C$  断开,染料分子的电子状态发生变化,从而改变可见区的吸收光谱。因此,当气敏元件的颜色发生变化且第一和第二透射率不同时可以检测臭氧气体。

第五个实施方案用靛蓝胭脂红二钠盐作为染料的例子。染料的一个例子是含靛蓝的靛青类着色剂(如:靛蓝或靛蓝胭脂红三钾盐)。

染料的例子有一号橙、二号橙、橙 G、甲基橙、俾斯麦棕、甲基黄、酸性铬紫 K、藏花橙 G、铬变素 FB、新胭脂、结晶猩红、茜素蓝黑 R、Plasmocorinth B、苏丹 II、苏丹 III、苏丹 IV、苏丹红 B、苏丹红 7B、晚霞黄 FCF、甲苯胺红、金莲橙 O、二甲代苯胺丽春红 2R、锌一钠盐、苯并红紫 4B、Biebrich Scarlet Red、枣红 R、亮藏花精 MOO、2-(5-溴-2-吡啶基偶氮)-5-(二乙基氨基)苯酚、6'-丁氧基-2,6-二氨基-3,3'-偶氮二吡啶、酸性黑 24、酸性蓝 29、酸性蓝 92、酸性蓝 113、酸性蓝 120、酸性橙 8、酸性橙 51、酸性橙 63、酸性橙 74、酸性红 1、酸性红 4、酸性红 8、酸性红 37、酸性红 97、酸性红 114、酸性红 151、酸性红 183、酸性紫 7、酸性黄 17、酸性黄 25、酸性黄 29、酸性黄 34、酸性黄 42、酸性黄 76、酸性黄 99、茜素黄 GG、Allura Red AC、苋菜红、Calcion、芝加哥天蓝 6B、铬变素 2B、铬变素 2R、碱性菊橙、刚果红、直接蓝 71、直接红 23、直接红 75、直接红 80、直接红 81、直接紫 51、直接黄 50、直接黄 62、分散红 1、分散红 19、分散黄 3、羊毛铬蓝黑 B、羊毛铬黑 T、埃文斯蓝、脂溶性棕 RR、间胺黄、萘酚蓝黑、硝嗉黄、氮红、硝基砒偶氮 III、溶剂红 26 和油红 O。染料的一个例子是既是芳香族化合物(如:苯、萘或蒽)又有重氮基的染料。使用这些染料时,即使存在其它气体也能够明确地检测到臭氧。

染料的一个例子是含有既是具有重氮基的芳香族化合物(如:苯、萘或蒽)又有羟基、亚硫酸基或伯至叔氨基的染料的重氮染料。使用这些染料时,即使存在其它气体也能够明确地检测到臭氧。还能够使染料具有稳定性,以更稳定地检测臭氧。

作为将染料导入多孔材料的孔中的一种方法，用溶液将染料浸渍到多孔材料中，染料导入孔中后干燥。作为另一种方法，染料可以通过气相沉积导入孔中。作为另一种方法，染料和其它化合物混合，然后在用溶胶凝胶法制作多孔材料时将其导入孔中。

根据第五个实施方案，用在多孔材料的孔中含有染料的气敏元件可以增加待检测的臭氧气体的吸附面积。与传统方法相比，其灵敏度和累计能力均有提高，从而可以实现累计应用。

根据第五个实施方案，如图 4 所示，气敏元件在预定波长处的透射率随检测目标气体中臭氧气体浓度的增加而增大。预定波长约为 600nm。

第五个实施方案通过使用小型气敏元件 103a 可以用光学变化检测臭氧气体，可以非常容易地高精度检测臭氧气体。在吸光率测量中，只有一个足以检测的单峰在变化，因此这种测量易于进行。

当气敏元件是用多孔玻璃(硼硅玻璃)制成的时，将平均孔径设置为 20nm 或更小，在 UV 可见光波长区(波长：200nm-2000nm)测量透射光谱时光线可以在可见光区(350nm-800nm)内传输。对于较大的平均孔径来说，能够观察到可见区的透射率突然下降。因此，上述多孔材料的平均孔径优选是 20nm 或更小。透明多孔材料优选用在 350nm-800nm 的可见区。在第五个实施方案中，多孔材料的比表面积是 100m<sup>2</sup>/g 或更大。

在第五个实施方案中，制备溶液 101 时加入的酸是盐酸。可以使用乙酸、硫酸和磷酸中的任何一种酸。

#### 第六个实施方案

下面说明本发明第六个实施方案的臭氧气敏元件。

下面描述第六个实施方案的臭氧气敏元件的制作方法。

如图 1A 所示，将作为染料(着色剂)的靛蓝胭脂红二钠盐、盐酸和作为酸性气体吸附剂的甘油溶解在水中，制备溶液。靛蓝胭脂红二钠盐的浓度是 0.4%，盐酸的浓度是 1N，甘油的浓度是 1.0%。

如图 1B 所示，使平均孔径为 4nm 的多孔材料浸泡在染料溶液中。多孔材料与第一个实施方案中所述的相同，是用购自 Corning 的 Vycor 7930 制成的。多孔材料的片尺寸为 8(mm)×8(mm)，厚度为 1(mm)。

多孔材料在染料溶液中浸泡 24 小时，用染料溶液浸渍多孔材料的孔。



然后将多孔材料空气干燥。多孔材料在氮气气流中干燥一天，从而形成第六个实施方案的气敏元件。

测量用这种方法制作的第六个实施方案的气敏元件的吸光率。

下面参考图 12 说明第六个实施方案的气敏元件在测量目标空气中暴露前后的吸收光谱。在图 12 中，虚线表示暴露在测量目标空气中之前的吸收光谱，实线表示在臭氧浓度为 100ppb 的空气中暴露 2 小时后的吸收光谱。

如图 12 所示，实线表示的第六个实施方案的气敏元件在约 600nm 波长处的吸光率降低。降低值约为 0.05，从而可以高灵敏度地检测 ppb 级的臭氧气体。

在上述制作方法中，制作对比气敏元件，只是没有使用甘油。用对比气敏元件研究作为酸性气体的  $\text{NO}_2$  的干扰所产生的影响。结果观察到  $\text{NO}_2$  对对比气敏元件有干扰，而在第六个实施方案的气敏元件中观察不到  $\text{NO}_2$  有任何干扰。

如上所述，在第六个实施方案制备的气敏元件中，酸、甘油与和臭氧气体反应时对可见区的吸光率发生变化的染料的混合物沉积在透明多孔材料的孔中。可以认为：当气敏元件暴露在含臭氧气体和许多非臭氧气体的酸性气体的大气中时，吸附在气敏元件孔中的臭氧气体使染料含有的靛蓝环中的碳碳双键断开，气敏元件不受酸性气体的干扰，染料分子的电子状态发生变化，从而改变可见区的吸收光谱。因此，当气敏元件的颜色发生变化且第一和第二透射率不同时可以检测臭氧气体。

第六个实施方案用靛蓝胭脂红二钠盐作为染料的例子。染料的一个例子是含靛蓝的靛青类着色剂(如：靛蓝或靛蓝胭脂红三钾盐)。

作为将染料导入多孔材料的孔中的一种方法，用作为溶液的染料浸渍多孔材料，然后干燥。作为另一种方法，染料可以通过气相沉积导入孔中。作为另一种方法，染料和其它化合物混合，然后在用溶胶凝胶法制作多孔材料时将其导入孔中。

根据第六个实施方案，用在多孔材料的孔中含有染料的气敏元件可以增加待检测的臭氧气体的吸附面积。与传统方法相比，其灵敏度和累计能力均有提高，从而可以实现累计应用。

在第六个实施方案中，多孔材料的平均孔径也优选是 20nm 或更小。

在第六个实施方案中，加入的酸性气体吸附剂是甘油，可以用三乙醇胺代替甘油。

#### 第七个实施方案

下面说明本发明第七个实施方案的臭氧气敏元件。

下面描述第七个实施方案的臭氧气敏元件的制作方法。

如图 1A 所示，将作为染料(着色剂)的靛蓝胭脂红二钠盐、作为酸的乙酸和作为吸湿化合物的甘油溶解在水中，制备染料溶液。靛蓝胭脂红二钠盐的浓度是 0.4%，乙酸的浓度是 1N，甘油的浓度是 10.0%。

如图 1B 所示，使平均孔径为 4nm 的多孔材料浸泡在染料溶液中。多孔材料与第一个实施方案中所述的相同，是用购自 Corning 的 Vycor 7930 制成的。多孔材料的片尺寸为 8(mm)×8(mm)，厚度为 1(mm)。多孔材料在染料溶液中浸泡 24 小时，用染料溶液浸渍多孔材料的孔。然后将多孔材料空气干燥。多孔材料在氮气气流中干燥一天，从而形成第七个实施方案的气敏元件。

下面参考图 13 说明第七个实施方案的气敏元件在测量目标空气中暴露前后的吸收光谱。在图 13 中，虚线表示暴露在测量目标空气中之前的吸收光谱，实线表示第七个实施方案的气敏元件在臭氧浓度为 100ppb 的空气中暴露 2 小时后的吸收光谱。

在第七个实施方案中，如图 13 所示，实线显示在约 600nm 波长处的吸光率降低。降低值约为 0.05，从而可以高灵敏度地检测 ppb 级的臭氧气体。

在上述制作方法中，制作对比气敏元件，只是没有使用甘油。用对比气敏元件研究湿度变化的干扰所产生的影响。结果观察到湿度对对比气敏元件有干扰，而在第七个实施方案的气敏元件中几乎观察不到任何干扰。

如上所述，在第七个实施方案制备的气敏元件中，酸、吸湿化合物与和臭氧气体反应时对可见区的吸光率发生不可逆变化的染料沉积在透明多孔材料的孔中。可以认为：当气敏元件暴露在含臭氧气体的大气中时，吸附在气敏元件孔中的臭氧气体使染料中的双键如 C=C 断开，染料

分子的电子状态发生变化,从而改变可见区的吸收光谱。

当气敏元件的颜色发生变化且第一和第二透射率不同时可以检测臭氧气体。

因为吸湿化合物含有水,所以即使加入水分,湿度变化产生的影响也很小。因此可以减小湿度的干扰。

第七个实施方案已用靛蓝胭脂红二钠盐作为染料的一个例子。染料的一个例子是含靛蓝环的靛青类着色剂(如:靛蓝或靛蓝胭脂红三钾盐)。

染料的一个例子有一号橙、二号橙、橙 G、甲基橙、俾斯麦棕、甲基黄、酸性铬紫 K、藏花橙 G、铬变素 FB、新胭脂、结晶猩红、茜素蓝黑 R、Plasmocorinth B、苏丹 II、苏丹 III、苏丹 IV、苏丹红 B、苏丹红 7B、晚霞黄 FCF、甲苯胺红、金莲橙 O、二甲代苯胺丽春红 2R、锌一钠盐、苯并红紫 4B、Biebrich Scarlet Red、枣红 R、亮藏花精 MOO、2-(5-溴-2-吡啶基偶氮)-5-(二乙基氨基)苯酚、6'-丁氧基-2,6-二氨基-3,3'-偶氮二吡啶、酸性黑 24、酸性蓝 29、酸性蓝 92、酸性蓝 113、酸性蓝 120、酸性橙 8、酸性橙 51、酸性橙 63、酸性橙 74、酸性红 1、酸性红 4、酸性红 8、酸性红 37、酸性红 97、酸性红 114、酸性红 151、酸性红 183、酸性紫 7、酸性黄 17、酸性黄 25、酸性黄 29、酸性黄 34、酸性黄 42、酸性黄 76、酸性黄 99、茜素黄 GG、Allura Red AC、苋菜红、Calcion、芝加哥天蓝 6B、铬变素 2B、铬变素 2R、碱性菊橙、刚果红、直接蓝 71、直接红 23、直接红 75、直接红 80、直接红 81、直接紫 51、直接黄 50、直接黄 62、分散红 1、分散红 19、分散黄 3、羊毛铬蓝黑 B、羊毛铬黑 T、埃文斯蓝、脂溶性棕 RR、间胺黄、萘酚蓝黑、硝嗉黄、氮红、硝基砒偶氮 III、溶剂红 26 和油红 O。染料的一个例子是既是芳香族化合物(如:苯、萘或蒽)又有重氮基的染料。使用这些染料时,即使存在其它气体也能够明确地检测到臭氧。

染料的一个例子是含有既是具有重氮基的芳香族化合物(如:苯、萘或蒽)又有羟基、亚硫酸基或伯至叔氨基的染料的重氮染料。使用这些染料时,即使存在其它气体也能够明确地检测到臭氧。还能够使染料具有稳定性,以更稳定地检测臭氧。

在第七个实施方案中,制备染料溶液 101 时加入的酸是乙酸。可以

使用盐酸、硫酸和磷酸中的任何一种酸。

在第七个实施方案中，制备染料溶液 101 时加入的吸湿化合物是甘油。也可以使用乙二醇。

作为将染料导入多孔材料的孔中的一种方法，用染料溶液将染料浸渍到多孔材料中，染料导入孔中后干燥。作为另一种方法，染料可以通过气相沉积导入孔中。作为另一种方法，染料和其它化合物混合，然后在用溶胶凝胶法制作多孔材料时将其导入孔中。

根据第七个实施方案，用在多孔材料的孔中含有染料的气敏元件可以增加待检测的臭氧气体的吸附面积。与传统方法相比，其灵敏度和累计能力均有提高，从而可以实现累计应用。

在第七个实施方案中，多孔材料的平均孔径也优选是 20nm 或更小。

### 第八个实施方案

下面说明本发明第八个实施方案的臭氧气敏元件。

下面描述第八个实施方案的臭氧气敏元件的制作方法。

如图 1A 所示，将作为染料(着色剂)的靛蓝胭脂红二钠盐、作为缓冲剂的磷酸和二水合磷酸二氢钠溶解在水中，制备染料溶液。靛蓝胭脂红二钠盐的浓度是 0.4%，磷酸的浓度是 50mmol，二水合磷酸二氢钠的浓度是 50mmol。

如图 1B 所示，使平均孔径为 4nm 的多孔材料浸泡在染料溶液中。多孔材料与第一个实施方案中所述的相同，是用购自 Corning 的 Vycor 7930 制成的。多孔材料的片尺寸为 8(mm)×8(mm)，厚度为 1(mm)。多孔材料在染料溶液中浸泡 24 小时，用染料溶液浸渍多孔材料的孔。然后将多孔材料空气干燥。多孔材料在氮气气流中干燥一天，从而形成第八个实施方案的气敏元件。

下面参考图 14 说明第八个实施方案的气敏元件在测量目标空气中暴露前后的吸收光谱。在图 14 中，虚线表示暴露在测量目标空气中之前的吸收光谱，实线表示第八个实施方案的气敏元件在臭氧浓度为 100ppb 的空气中暴露 2 小时后的吸收光谱。

在第八个实施方案中，如图 14 所示，实线显示在约 600nm 波长处的吸光率降低。降低值约为 0.05，从而可以高灵敏度地检测 ppb 级的臭氧

气体。

在上述制作方法中，制作对比气敏元件，只是没有使用缓冲剂。用对比气敏元件研究湿度变化的干扰所产生的影响。结果观察到湿度对对比气敏元件有干扰，而在第八个实施方案的气敏元件中几乎观察不到任何干扰。

如上所述，在第八个实施方案制备的气敏元件中，缓冲剂与和臭氧气体反应时对可见区的吸光率发生变化的染料的混合物沉积在透明多孔材料的孔中。可以认为：当气敏元件暴露在含臭氧气体的大气中时，吸附在气敏元件孔中的臭氧气体使染料含有的靛蓝环中的碳碳双键断开，染料分子的电子状态发生变化，从而改变可见区的吸收光谱。因此，当气敏元件的颜色发生变化且第一和第二透射率不同时可以检测臭氧气体。

加入有缓冲剂时，即使湿度变化造成水分的增加，氢离子浓度也能保持恒定。因此可以减小湿度的干扰。

第八个实施方案已用靛蓝胭脂红二钠盐作为染料的例子。染料的一个例子是含靛蓝环的靛青类着色剂(如：靛蓝或靛蓝胭脂红三钾盐)。

染料的例子有一号橙、二号橙、橙 G、甲基橙、俾斯麦棕、甲基黄、酸性铬紫 K、藏花橙 G、铬变素 FB、新胭脂、结晶猩红、茜素蓝黑 R、Plasmocorinth B、苏丹 II、苏丹 III、苏丹 IV、苏丹红 B、苏丹红 7B、晚霞黄 FCF、甲苯胺红、金莲橙 O、二甲代苯胺丽春红 2R、锌一钠盐、苯并红紫 4B、Biebrich Scarlet Red、枣红 R、亮藏花精 MOO、2-(5-溴-2-吡啶基偶氮)-5-(二乙基氨基)苯酚、6'-丁氧基-2,6-二氨基-3,3'-偶氮二吡啶、酸性黑 24、酸性蓝 29、酸性蓝 92、酸性蓝 113、酸性蓝 120、酸性橙 8、酸性橙 51、酸性橙 63、酸性橙 74、酸性红 1、酸性红 4、酸性红 8、酸性红 37、酸性红 97、酸性红 114、酸性红 151、酸性红 183、酸性紫 7、酸性黄 17、酸性黄 25、酸性黄 29、酸性黄 34、酸性黄 42、酸性黄 76、酸性黄 99、茜素黄 GG、Allura Red AC、苋菜红、Calcion、芝加哥天蓝 6B、铬变素 2B、铬变素 2R、碱性菊橙、刚果红、直接蓝 71、直接红 23、直接红 75、直接红 80、直接红 81、直接紫 51、直接黄 50、直接黄 62、分散红 1、分散红 19、分散黄 3、羊毛铬蓝黑 B、羊毛铬黑 T、埃文斯蓝、

脂溶性棕 RR、间胺黄、萘酚蓝黑、硝嗪黄、氮红、硝基砒偶氮 III、溶剂红 26 和油红 O。染料的一个例子是既是芳香族化合物(如：苯、萘或蒽)又有重氮基的染料。使用这些染料时，即使存在其它气体也能够明确地检测到臭氧。

染料的一个例子是含有既是具有重氮基的芳香族化合物(如：苯、萘或蒽)又有羟基、亚硫酸基或伯至叔氨基的染料的重氮染料。使用这些染料时，即使存在其它气体也能够明确地检测到臭氧。还能够使染料具有稳定性，以更稳定地检测臭氧。

作为将染料导入多孔材料的孔中的一种方法，用染料溶液将染料浸渍到多孔材料中，染料导入孔中后干燥。作为另一种方法，染料可以通过气相沉积导入孔中。作为另一种方法，染料和其它化合物混合，然后在用溶胶凝胶法制作多孔材料时将其导入孔中。

根据第八个实施方案，用在多孔材料的孔中含有染料的气敏元件可以增加待检测的臭氧气体的吸附面积。与传统方法相比，其灵敏度和累计能力均有提高，从而可以实现累计应用。

在第八个实施方案中，多孔材料的平均孔径也优选是 20nm 或更小。

第一个至第八个实施方案描述了板状气敏元件。气敏元件并不限于此，可以加工成纤维形状。

在上述实施方案中，染料(着色剂)沉积在多孔材料的孔中。本发明不限于多孔材料，可以使用任何材料，只要能够检测和臭氧反应前后的染料状态即可。

#### 第九个实施方案

下面描述本发明的第九个实施方案。

如图 15 所示，第九个实施方案的臭氧气体检测装置(测量装置)包括发射预定波长的光的发光单元 1001、传感发光单元 1001 发射的光的气敏元件 1002、与气敏元件 1002 连接，接收通过气敏元件 1002 的光的光检测单元 1003、与光检测单元 1003 连接的信号处理单元 1008。

信号处理单元 1008 包括与光检测单元 1003 连接的转换/放大单元 1004、与转换/放大单元 1004 连接的 A/D 转换单元 1005、与 A/D 转换单元 1005 连接的输出检测单元 1006 及与输出检测单元 1006 连接的运算单

元 1007。

例如，由发射预定波长的光的 LED 构成的发光单元 1001 发射的光照射气敏元件 1002。光检测单元 1003 接收通过气敏元件 1002 的光。光检测单元 1003 将接收的光进行光电转换后输出信号电流。转换/放大单元 1004 将输出信号电流放大，然后将电流转换成电压。A/D 转换单元 1005 将电压信号转换成数字信号。输出检测单元 1006 将数字信号作为检测结果输出。运算单元 1007 基于输出检测单元 1006 的输出信号和事先得到的含有染料 303 的气敏元件在染料与臭氧气体 304 反应前的光吸收性能计算臭氧气体量。

气敏元件 1002 是任一上述第一个至第八个实施方案的气敏元件。发光单元 1001 可以采用发射波长例如为 470nm 的蓝色 LED。

例如，用具有第一个实施方案的气敏元件的检测装置(测量装置)在干燥空气气氛中和臭氧浓度为 50ppb-500ppb 的空气中检测臭氧气体。

可以认为：当臭氧气体进入气敏元件的孔中并吸附在其上时，染料中的双键如  $N=N$  或  $C=C$  断开，染料分子的电子状态发生变化，从而改变气敏元件的颜色。结果改变了可见区的吸收光谱。发光单元 1001 发射的光经过气敏元件 1002 进入光接收单元 1003，当光接收单元 1003 输出的电信号变化时，用进行信号处理的电工测试仪器可以检测气敏元件 1002 的颜色变化。

然后，如上所述，可以得到不同于初始状态的输出信号，在初始状态中，气敏元件不暴露在臭氧气体中。

根据第九个实施方案，易于建构臭氧气体检测装置(测量装置)。

如上所述，本发明的臭氧气敏元件包括多孔材料和沉积在多孔材料的孔中且可见区的光吸收性能随其与臭氧气体的反应而变化的染料。利用这种结构，当臭氧气体进入气敏元件的孔中并吸附在其上时，染料分解，使臭氧气敏元件褪色。检测颜色变化可以检测臭氧气体。与传统方法相比，能够更简易、更高精度地检测臭氧气体。

既是芳香族化合物(如：苯、萘或蒽)又有重氮基的染料即使存在其它气体也能够明确地检测到臭氧。

既是具有芳香族化合物(如：苯、萘或蒽)又有羟基、亚硫酸基或伯至

叔氨基及重氮基的染料即使存在其它气体也能够明确地检测到臭氧。还能够使染料具有稳定性，以更稳定地检测臭氧。

当三苯基甲烷着色剂染料用作染料时，即使存在其它气体也能够明确地检测到臭氧。

当含品红酮亚胺的染料用作染料时，即使存在其它气体也能够明确地检测到臭氧。

当具有靛蓝环的靛青类着色剂用作染料时，即使存在其它气体也能够明确地检测到臭氧。

因为三苯基甲烷着色剂染料或品红酮亚胺染料和碱沉积在多孔材料的孔中，所以能够稳定其吸光率，即使在氮气中也没有任何变化。

因为染料和酸性气体吸附剂沉积在多孔材料的孔中，所以能够检测到臭氧，且  $\text{NO}_2$  不会有任何干扰。作为酸性气体吸附剂，可以使用甘油和三乙醇胺中的一种。多孔材料的平均孔径设定为染料能够进入孔中的 20nm 或更小。在 UV 可见波长区(波长为 200nm-2000nm)测量吸收光谱时，能够透射大量可见光区(350nm-800nm)的光。

重氮染料或靛青类染料和酸沉积在多孔材料的孔中。利用这种结构，当臭氧气体进入气敏元件的孔中并吸附在其上时，染料分解，使臭氧气敏元件褪色。检测颜色变化可以检测臭氧气体。与传统方法相比，能够更简易、更高精度地检测臭氧气体。

在臭氧气敏元件中，酸选自盐酸、乙酸、硫酸和磷酸中的一种。多孔材料中可以混入许多染料组分。

在臭氧气敏元件中，甘油和染料及酸一起沉积在多孔材料的孔中，从而能够防止  $\text{NO}_2$  的干扰。

在臭氧气敏元件中，多孔材料的平均孔径设定为小于 20nm，使得染料能够进入孔中。在 UV 可见波长区(波长为 200nm-2000nm)测量吸收光谱时，能够透射大量可见光区(350nm-800nm)的光。

重氮染料或靛青类染料、酸和吸湿化合物沉积在多孔材料的孔中。利用这种结构，当臭氧气体进入气敏元件的孔中并吸附在其上时，染料分解，使臭氧气敏元件褪色。检测颜色变化可以检测臭氧气体。与传统方法相比，能够更简易、更高精度地检测臭氧气体。



在臭氧气敏元件中，酸选自盐酸、乙酸、硫酸和磷酸中的一种。多孔材料中可以混入许多染料组分。

在臭氧气敏元件中，吸湿化合物的例子是乙醇和乙二醇。多孔材料中保持有大量水，所以能够降低湿度的影响。

在臭氧气敏元件中，多孔材料的平均孔径设定为小于 20nm，使得染料能够进入孔中。在 UV 可见波长区(波长为 200nm-2000nm)测量吸收光谱时，能够透射大量可见光区(350nm-800nm)的光。

重氮染料或靛青类染料和缓冲剂沉积在多孔材料的孔中。利用这种结构，当臭氧气体进入气敏元件的孔中并吸附在其上时，染料分解，使臭氧气敏元件褪色。检测颜色变化可以检测臭氧气体。与传统方法相比，能够更简易、更高精度地检测臭氧气体。

因为臭氧气敏元件中导入了缓冲剂，所以能够保持氢离子在多孔材料中的浓度，几乎不受湿度的影响。

在臭氧气敏元件中，多孔材料的平均孔径设定为小于 20nm，使得染料能够进入孔中。在 UV 可见波长区(波长为 200nm-2000nm)测量吸收光谱时，能够透射大量可见光区(350nm-800nm)的光。

用在多孔材料的孔中含有染料的气敏元件可以增加待检测的臭氧气体的吸附面积。与传统方法相比，其灵敏度和累计能力均有提高，从而可以实现累计应用。

本发明的臭氧气体检测装置(测量装置)包括发光单元、光检测单元、气敏元件和信号处理单元。发光单元发射预定波长的光。气敏元件插入在发光单元和光检测单元之间，气敏元件包括多孔材料和沉积在多孔材料的孔中且可见区的光吸收性能随其与臭氧气体的反应而变化的染料。光检测单元包括布置为面对发光单元的光接收表面。光检测单元利用气敏元件接收发光单元发射的光，并输出对应于光接收表面接收的光通量的信号。信号处理单元基于光检测单元的输出信号和事先得到的含有染料的气敏元件在染料与臭氧气体反应前的光吸收性能计算臭氧气体量。

利用这种结构，当臭氧气体进入气敏元件的孔中并吸附在其上时，染料分解，使臭氧气敏元件褪色。发光单元发射的光经过气敏元件进入光检测单元，当光检测单元输出的电信号变化时，用电工测试仪器可以

检测气敏元件的颜色变化。

臭氧气体检测装置(测量装置)可以布置在检测目标大气中,高精度地检测臭氧气体。与传统方法相比,能够更简易、更高精度地检测臭氧气体。

例如,发光单元由发光二极管构成,光检测单元由光电晶体管构成。检测装置还包括为发光二极管和光电晶体管供电的电池组、使电池组向发光二极管和光电晶体管供电或停止供电的开关、连接在光电晶体管和电池组之间的作为电工测试仪器的电压表。检测装置还包括具有连接发光二极管、光电晶体管、电池组、开关和电压表的端子的终端串(terminal strip)和其上布置有发光二极管、光电晶体管、电池组、开关、电压表和终端串的面板。

因此,可以在很小的面积内构成高精度臭氧气体检测装置(测量装置)。可以用商购电池组作为电源,从而可以更简易地检测臭氧气体。

本发明的臭氧气体检测方法(测量方法)包括下述步骤:制备气敏元件,在气敏元件中,可见区的光吸收性能随其与臭氧气体的反应而变化的染料(着色剂)沉积在多孔材料的孔中;使气敏元件在检测环境中暴露预定时间;基于气敏元件在检测环境中暴露前和暴露预定时间后染料的变化测量目标气体中的臭氧气体量。更具体地说,臭氧气体检测方法(测量方法)包括:第一步,测量本发明的气敏元件的透光率,得到第一个透光率;第二步,使气敏元件在检测目标气体中暴露预定时间;第三步,测量气敏元件的透光率,得到第二个透光率;第四步,用第一个透光率和第二个透光率的差值检测目标气体中的臭氧。

利用这些步骤,当气敏元件暴露在含臭氧气体的大气中时,吸附在气敏元件孔中的染料分解。气敏元件颜色的变化导致第一个透光率和第二个透光率的差别。因此可以检测臭氧气体。气敏元件暴露在检测目标大气中后只观察到气敏元件颜色的变化。与传统方法相比,能够更简易、更高精度地检测臭氧气体。

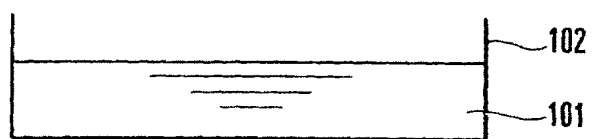


图 1A

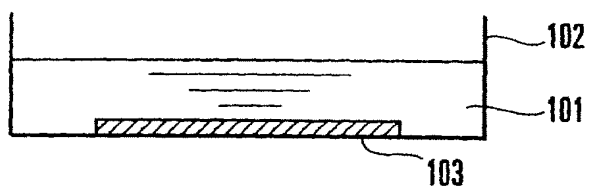


图 1B

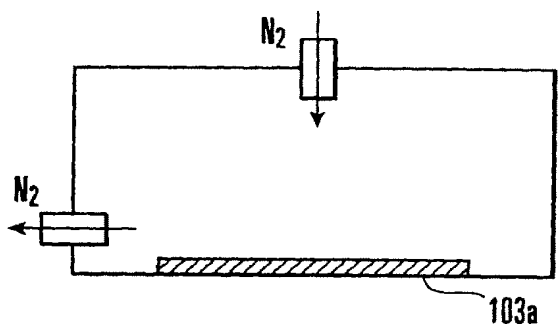
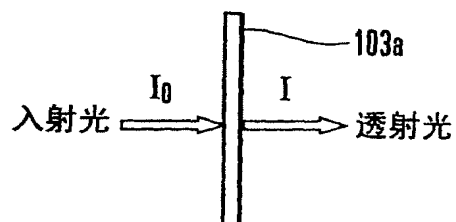


图 1C



$$\text{吸光率} = \log_{10}(I_0/I)$$

图 1D

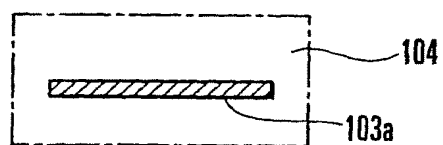


图 1E

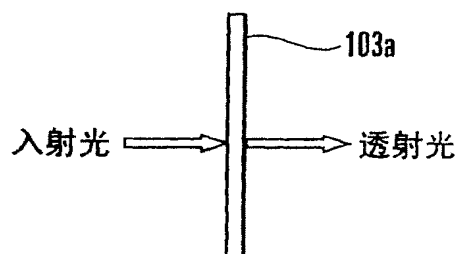


图 1F

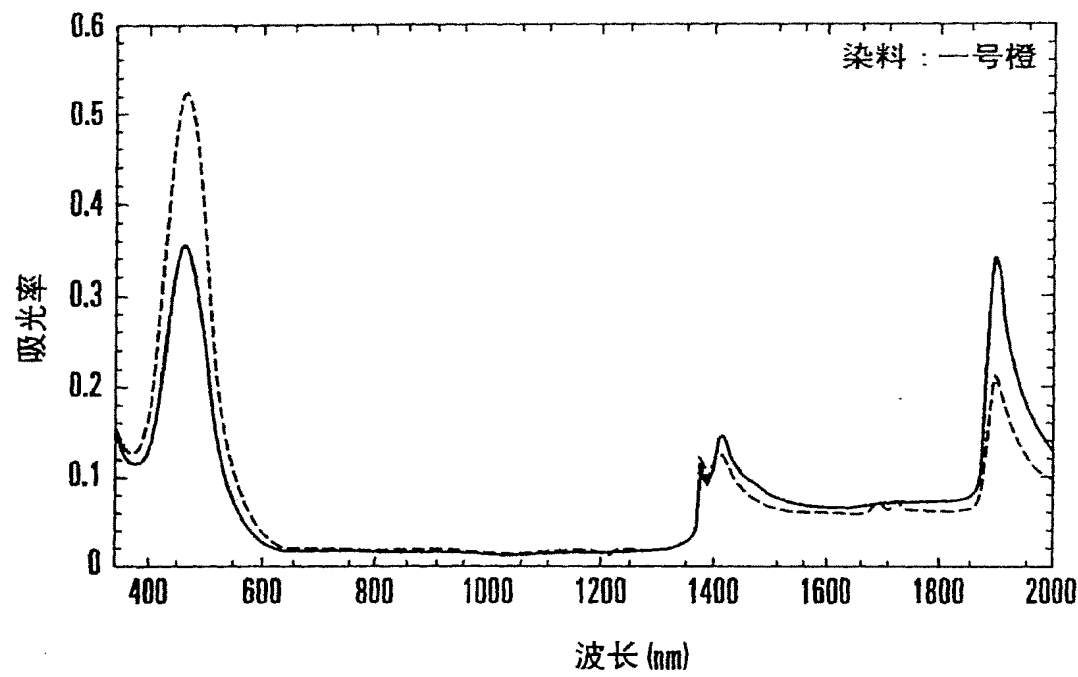


图 2

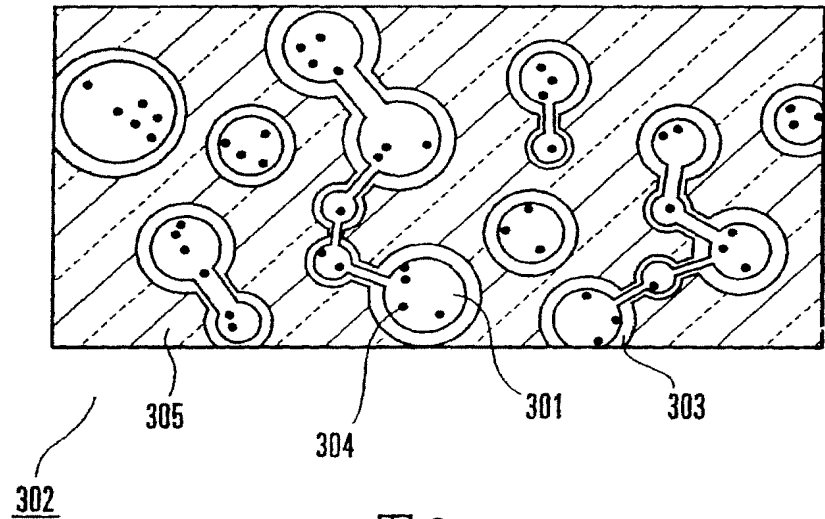


图 3

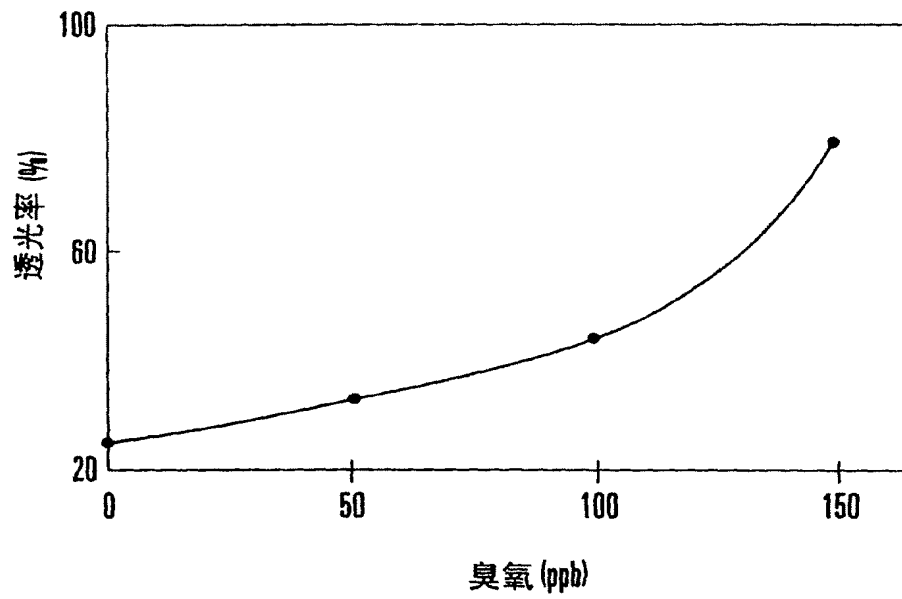


图 4

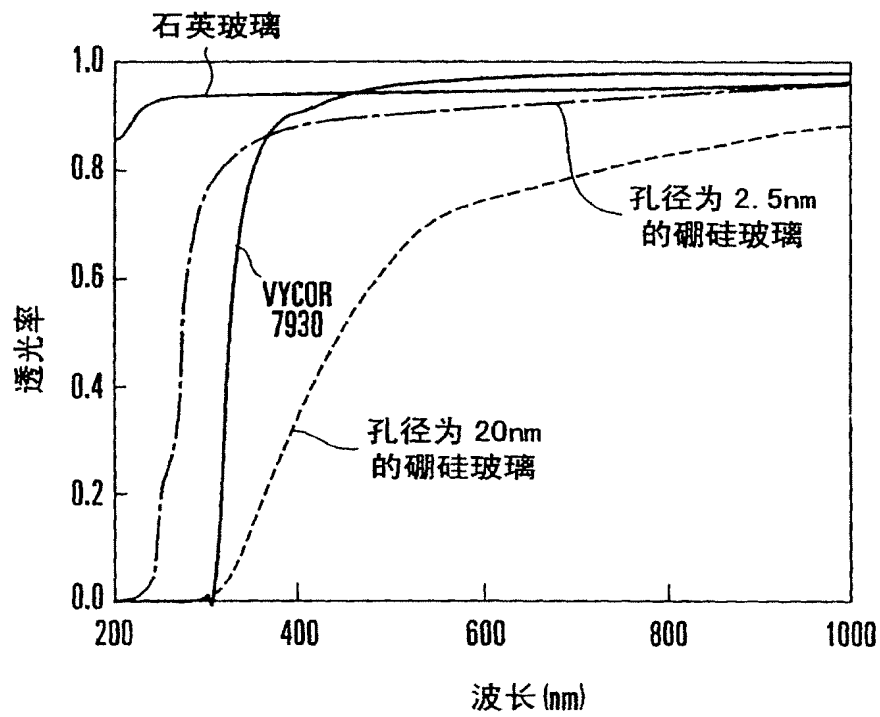


图 5

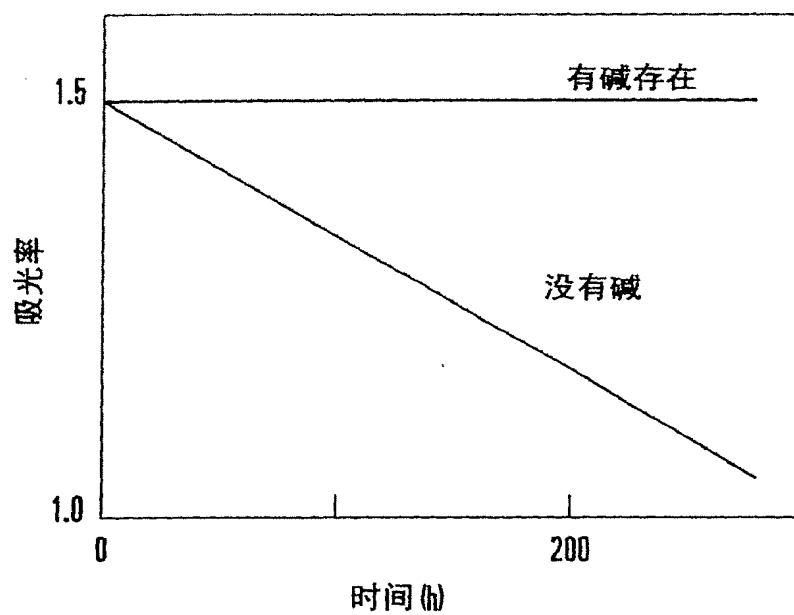


图 6

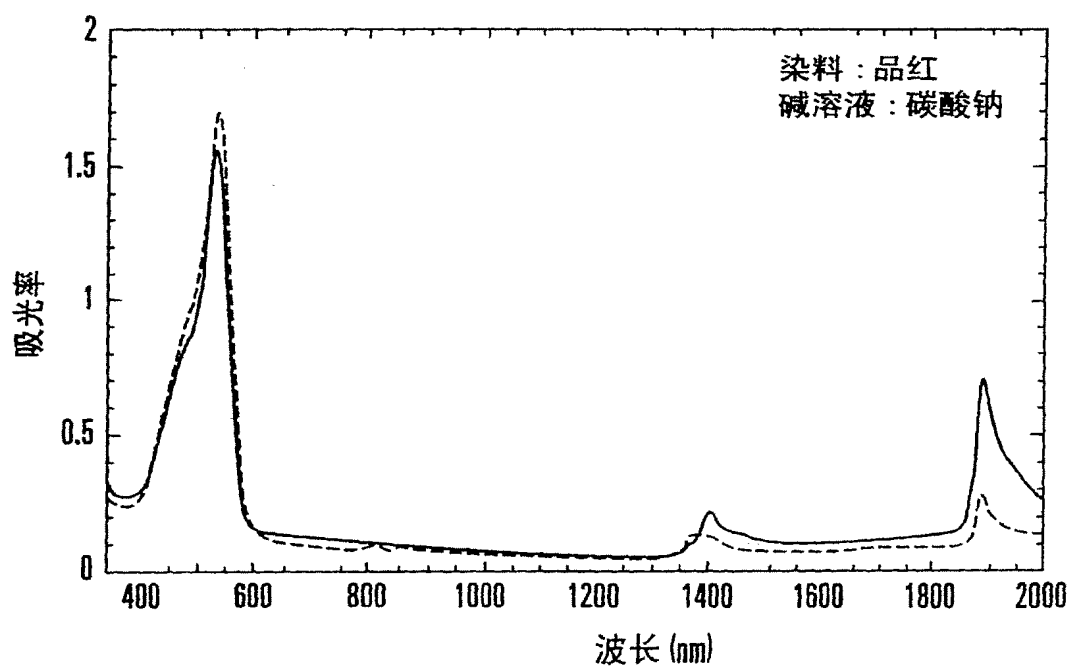


图 7

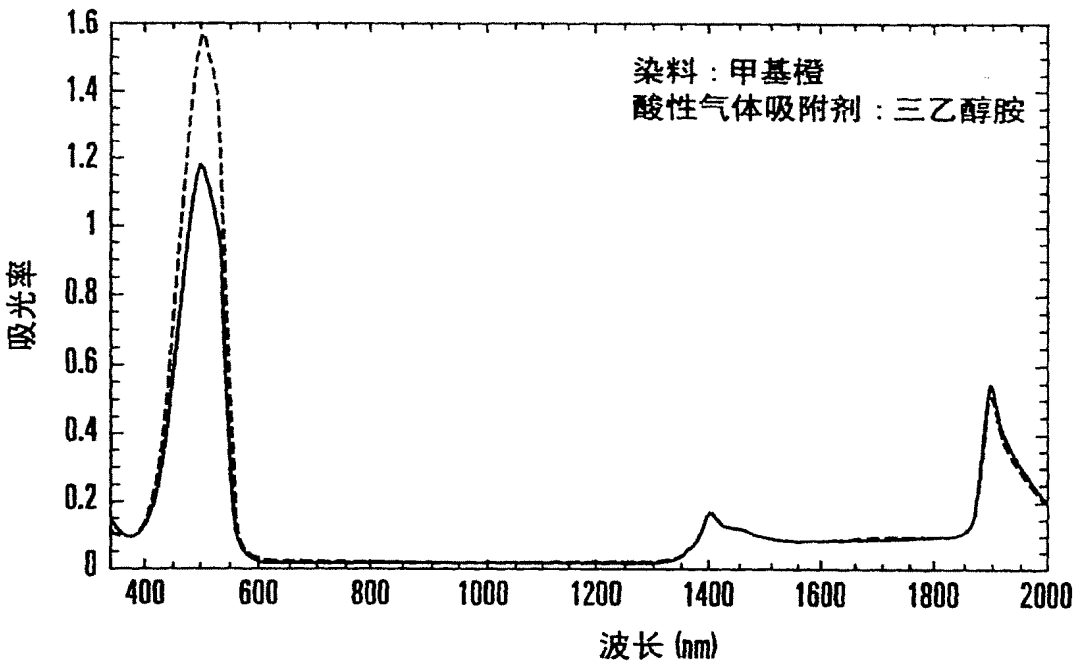


图 8

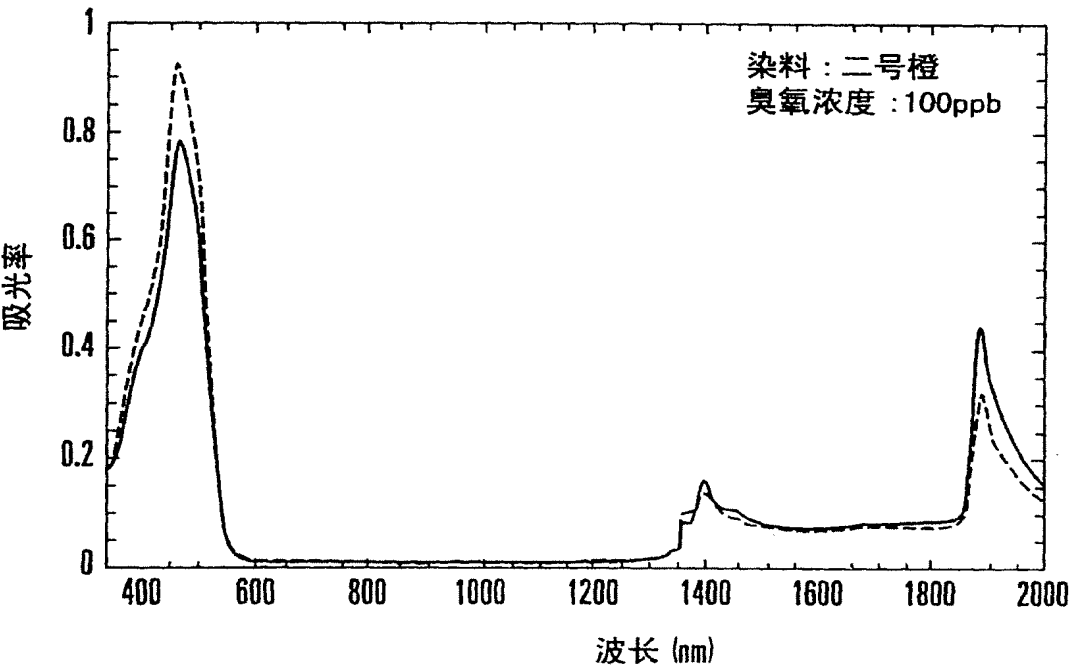


图 9

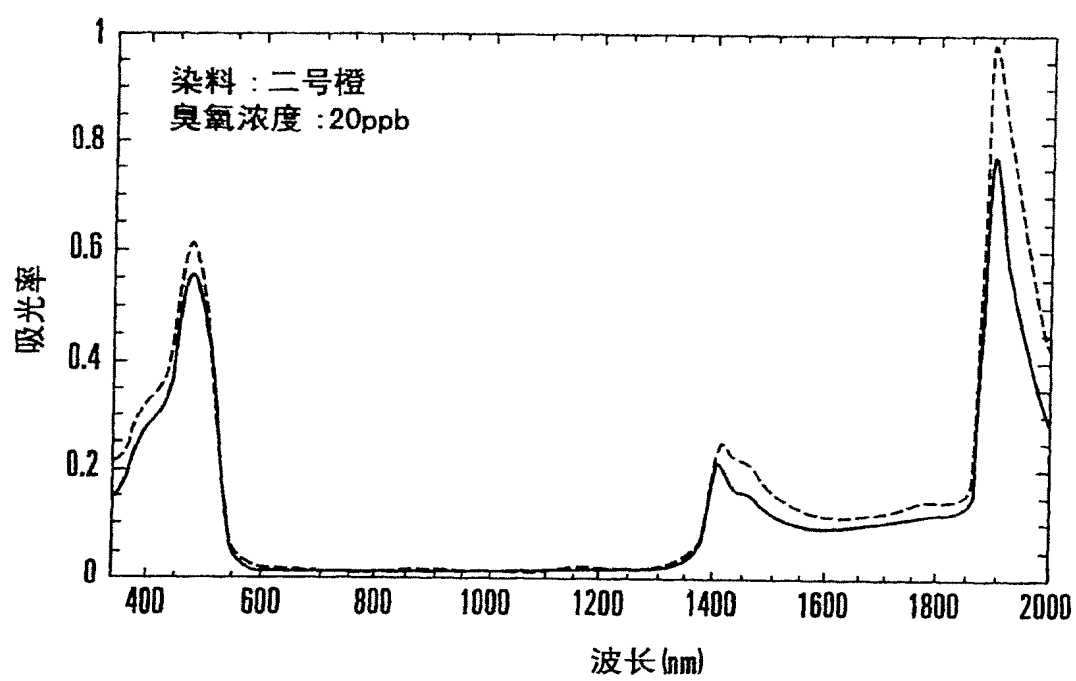


图 10



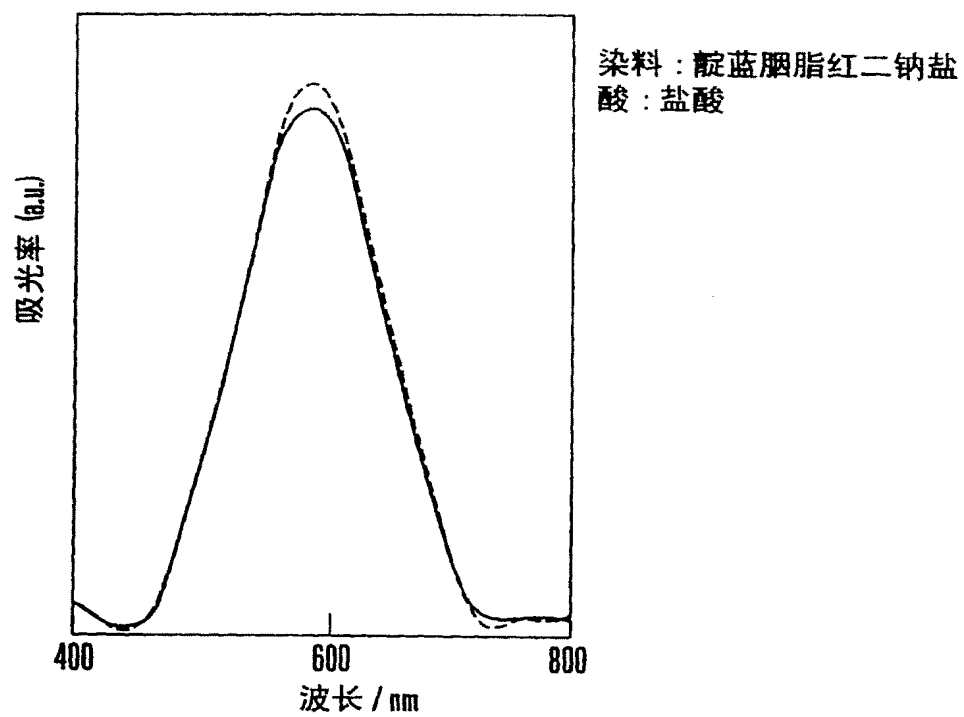


图 11

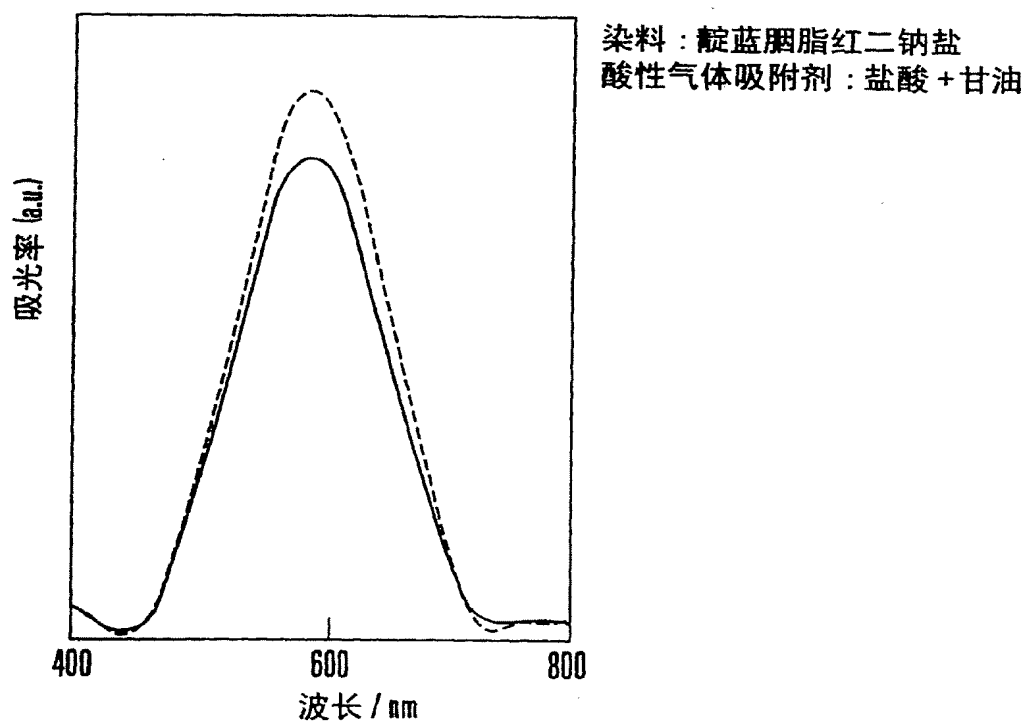


图 12

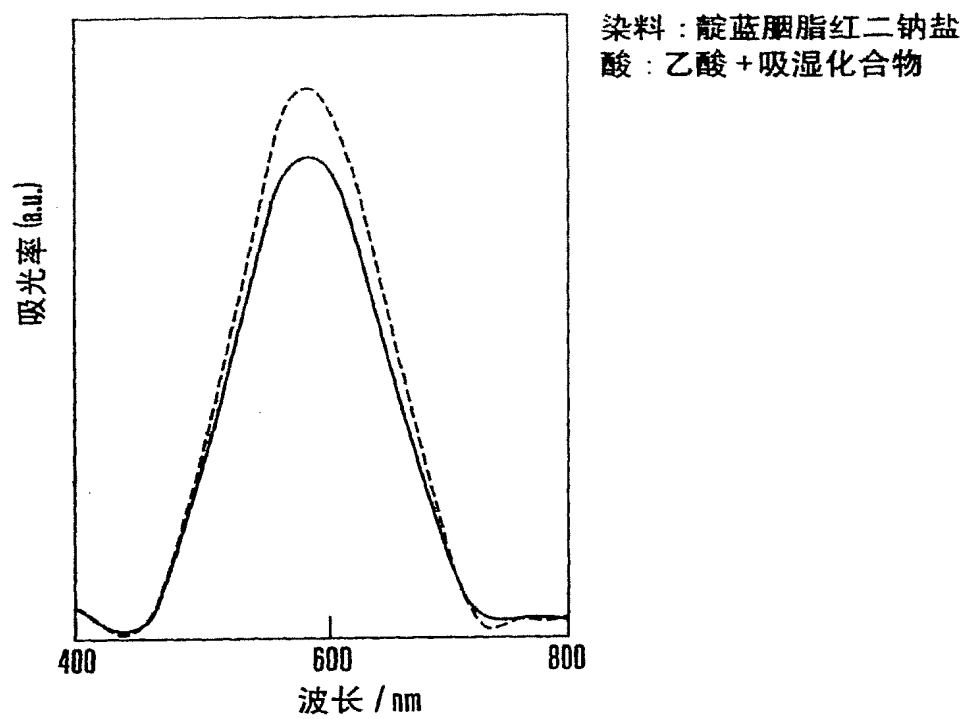


图 13

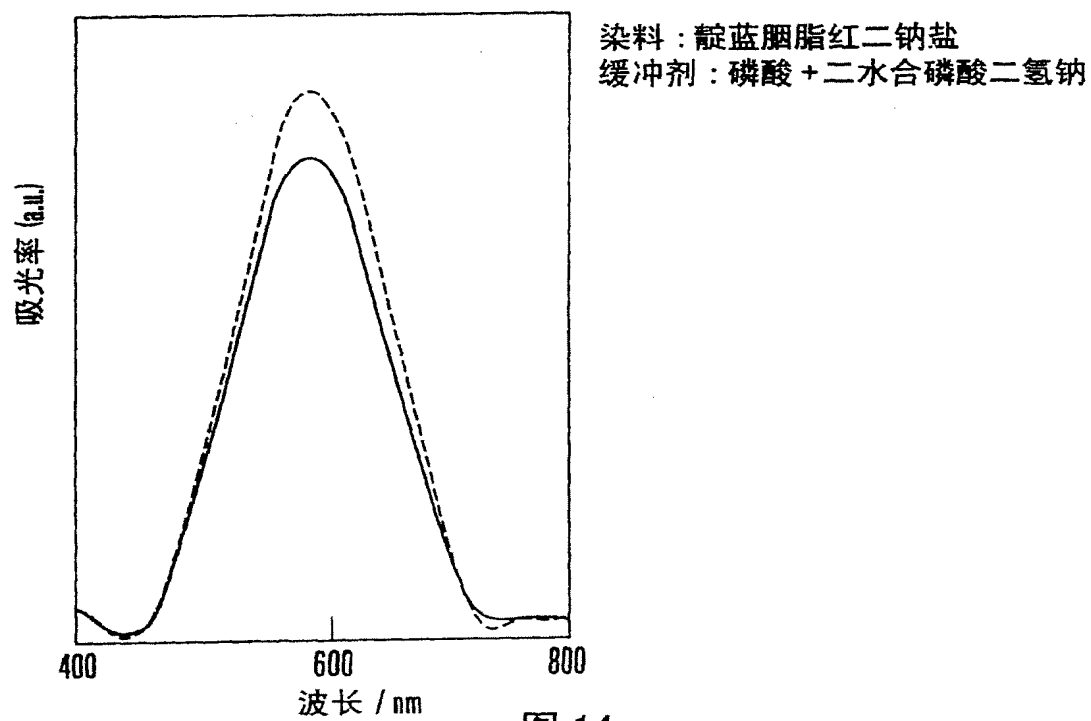


图 14

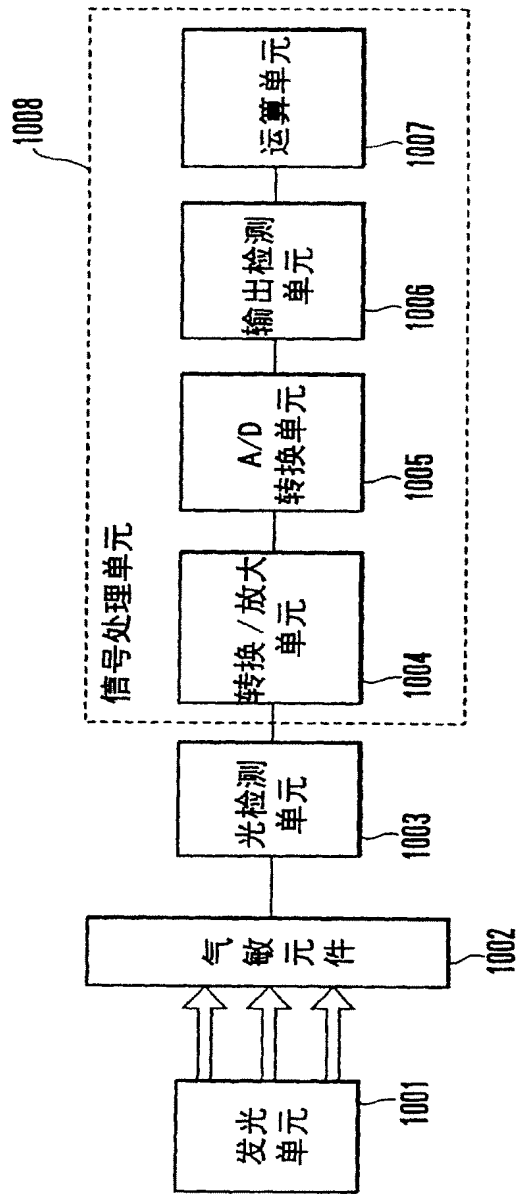


图 15